

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГУМАНІТАРНО-ПЕДАГОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

ДИПЛОМНА РОБОТА  
МАГІСТРА

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ МІСТА  
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО

Галузь знань – *10 Природничі науки*  
Спеціальність – *101 Екологія*

ДРЕКОЛ. 022207.01.11.00

Виконала: студентка 2 курсу  
групи ЕКОЛ<sub>М</sub>-22-1

\_\_\_\_\_ В.С. Чуйко

Керівник:

\_\_\_\_\_ В.В. Рибак

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ С.М. Шевченко

До захисту допускаю:

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Н.Г. Міронова

\_\_\_\_\_ 2023 р.

Хмельницький 2023

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет – *Гуманітарно-педагогічний*

Кафедра – *Екології та біологічної освіти*

Освітній рівень – *Магістр*

Галузь знань – *10 Природничі науки*

Спеціальність – *101 Екологія*

Освітня програма – *Освітньо-професійна*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології

та біологічної освіти

\_\_\_\_\_ Наталія МІРОНОВА

«2» жовтня 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Чуйко Віталії Сергіївни

1. Тема роботи: *Геоінформаційна система природних ресурсів міста Хмельницького*

керівник роботи *Рибак В.В., к.с-г.н., доцент кафедри екології та біологічної освіти Хмельницького національного університету.*

Затверджено наказом ректора університету від 15 серпня 2023 року № 30.

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 13 грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: законодавчі та підзаконні акти; літературні джерела; статистичні відомості; звіти та доповіді про стан навколишнього середовища; електронні джерела інформації; картографічні дані.

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Природно-кліматичні особливості міста Хмельницького.

4.2 Застосування геоінформаційних технологій у світі.

4.3 Геоінформаційна система природних ресурсів та екологічного стану міста Хмельницького.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень): немає.

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: «2» жовтня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Природно-кліматичні особливості міста Хмельницького	02.10-18.10	

2	Застосування геоінформаційних технологій у світі	19.10-08.11	
3	Геоінформаційна система природних ресурсів та екологічного стану міста Хмельницького	9.11-03.12	
4	Оформлення роботи	04.12-12.12	

Студент \_\_\_\_\_ Віталія ЧУЙКО  
Керівник роботи \_\_\_\_\_ Віктор РИБАК

## АНОТАЦІЯ

Тема – Геоінформаційна система природних ресурсів міста Хмельницького.

Автор – студ. ЕКОЛм-22-1 В.С. Чуйко.

Керівник – к.с-г.н., доцент В.В. Рибак.

Дипломна робота викладена на 83 сторінках, містить 6 таблиць, 11 рисунків та перелік джерел посилань з 53 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, УПРАВЛІННЯ ПРИРОДООХОРОННОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ, ПРИРОДНІ ОБ'ЄКТИ, ЗБАЛАНСОВАНИЙ РОЗВИТОК.

У дипломній роботі досліджено можливості застосування інтерактивних карт у сфері природоохоронної діяльності, зосереджуючись на прикладі міста Хмельницького. Проведено польові та інструментальні дослідження, а також розроблено геоінформаційні інтерактивні карти за допомогою програмного комплексу QGIS. Створена геоінформаційна база даних включає в себе інформацію про природні ресурси та екологічний стан міста Хмельницького. Отримані результати можуть бути ефективним інструментом для управління природними територіями з боку природоохоронних та виконавчих органів, сприяючи покращенню процесів оцінки та моніторингу стану природи в місті.

13.12.2023 р.

\_\_\_\_\_ В.С. Чуйко

## ЗМІСТ

С.

<b>Вступ</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Природно-кліматичні особливості міста Хмельницького</b> .....	<b>11</b>
1.1 Характеристика природних комплексів міста Хмельницького .....	11
1.2 Особливості флористичного та фауністичного складу досліджуваної території .....	15
1.3 Природно-заповідний фонд міста Хмельницького .....	17
<b>2 Застосування геоінформаційних технологій у світі</b> .....	<b>26</b>
2.1 Загальна характеристика геоінформаційних систем .....	26
2.2 Короткий огляд історії виникнення геоінформаційних систем .....	29
2.3 Перспективи розвитку геоінформаційних технологій .....	34
2.4 Застосування геоінформаційних технологій при проведенні моніторингу навколишнього природного середовища .....	36
2.5 Використання геоінформаційних технологій при прийнятті управлінських рішень .....	38
<b>3 Геоінформаційна система природних ресурсів та екологічного стану міста Хмельницького</b> .....	<b>41</b>
3.1 Геоінформаційна система природних об'єктів міста Хмельницького .....	41
3.2 Іонізуюче випромінювання та наслідки його впливу на довкілля та живі організми .....	43
3.3 Дослідження радіаційного стану міста Хмельницького .....	49
3.4 Токсичний вплив важких металів на довкілля .....	52
3.5 Визначення забруднення ґрунтів м. Хмельницького вільними сполуками кадмію та свинцю .....	55
<b>Висновки</b> .....	<b>67</b>
<b>Перелік джерел посилання</b> .....	<b>71</b>
<b>Додаток А</b> .....	<b>81</b>

## ВСТУП

Забезпечення екологічної стабільності та раціональне використання природних ресурсів є необхідними умовами для розвитку України, її регіонів та кожного населеного пункту. Охорона природного середовища та гарантування екологічної безпеки в життєдіяльності населення є важливими аспектами, спрямованими на сталість та благополуччя [1].

Геоінформаційні системи надають можливість проводити одночасний аналіз багатовимірних даних, використовуючи цифрові карти, що спрощує процедури екологічного прогнозу та комплексної оцінки впливу на природне середовище. Крім того, вони допомагають оперативно виявляти аномалії та приймати необхідні заходи для їх виправлення [2].

З метою підвищення ефективності територіального управління постійно впроваджуються нові системи на різних рівнях – від муніципального до державного. Створення геоінформаційних систем для будь-якого міста спрямоване на облік природних об'єктів, відстеження впливу людської діяльності на ці території, моніторинг забруднення та екологічного стану, а також планування розвитку та збереження природних ресурсів [3-4].

Створення ГІС для територіального управління є кроком до більш збалансованого та ефективного використання ресурсів, забезпечення екологічної стабільності та планування майбутнього розвитку міст та їхнього оточення.

Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», прийнятий у 2020 році, передбачає створення єдиної бази даних для всіх населених пунктів країни. Цей закон спрямований на створення системи геоінформаційної підтримки, яка інтегрується з глобальними та європейськими інфраструктурами. Використання єдиної бази даних призначено для забезпечення органів управління необхідною

природоохоронною інформацією, що сприятиме ефективнішому управлінню природними об'єктами, сприятиме консолідації ресурсів та забезпечить єдність та стандартизацію даних [2].

Ще одним, не менш суттєвим, є Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля», що враховує використання сучасних автоматизованих інформаційних систем у моніторингу різних природних об'єктів. Закон вносить зміни до чинних законодавчих актів з метою створення геоінформаційної системи ландшафтних об'єктів [5].

Метою дипломної роботи є розробка геоінформаційної системи природних об'єктів міста Хмельницького. Це зроблено з метою забезпечення органів управління природоохоронною діяльністю актуальною екологічною інформацією, що дозволить приймати обґрунтовані рішення стосовно збереження та раціонального використання природних ресурсів.

Завданнями дипломної роботи є:

- аналіз кліматичних особливостей та природно-ресурсного потенціалу міста Хмельницького.
- дослідження історії та етапів розвитку геоінформаційних технологій в іноземних країнах.
- розробка геоінформаційної системи природних ресурсів та екологічного стану міста Хмельницького.

Об'єкт дослідження – природні комплекси м. Хмельницького.

Предмет дослідження – геоінформаційна система природних об'єктів міста Хмельницького.

Гіпотеза дослідження ґрунтується на тому, що запровадження геоінформаційної системи природних об'єктів міста Хмельницького дозволить максимально підвищити рівень управління природоохоронними територіями органами місцевого самоврядування, забезпечить доступ

громадськості до екологічної інформації та сприятиме реалізації сталого розвитку громади.

Під час написання магістерської роботи використовувалися емпіричні, теоретичні і загально-логічні методи досліджень. З емпіричних: спостереження (вивчення предметів за допомогою органів чуття) та вимірювання (використання засобів вимірювання для знаходження числової величини). З теоретичних методів використовувався метод формалізації, що виключає можливість неоднозначного розуміння поданої інформації. Загально-логічні методи, що використовувались – синтез, для об'єднання різних частин у ціле, та індукція, для узагальнення спостережень та вимірювань і можливості побачити загальну ситуацію.

Наукова новизна магістерської роботи полягає у тому, що вперше було розроблено геоінформаційну систему природних об'єктів та екологічного стану для міста Хмельницького.

Практичне значення роботи полягає тому, що створена система буде доступною для використання різними гілками влади, громадськими організаціями та органами місцевого самоврядування, такими як Департамент природних ресурсів та екології, Державна екологічна інспекція у Хмельницькій області, Управління архітектури та містобудування, Управління земельних ресурсів та земельної реформи, Комунальне підприємство зеленого будівництва та благоустрою міста та інші організації. Застосування цієї системи сприятиме підвищенню ефективності управління, зменшенню негативного впливу на довкілля, забезпечить доступ громадськості до екологічної інформації відповідно до принципів Орхуської конвенції та сприятиме реалізації сталого та збалансованого розвитку громади Хмельницького.

Основний вклад автора полягає в аналізі літературних джерел, проведенні польових та інструментальних досліджень, створенні геоінформаційних інтерактивних карт у програмному комплексі QGIS та

розробці геоінформаційної бази даних природних ресурсів та екологічного стану міста Хмельницького.

Апробація результатів дипломної роботи і публікації з теми дослідження. Результати дослідження було опубліковано в матеріалах III Міжнародної науково-практичної конференції «Vin Smart Eco» (м. Вінниця, 2023 р.) – «Актуальні питання створення геоінформаційних баз даних природних об'єктів урбоєкосистем на прикладі міста Хмельницького» (додаток А).

# **1 ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

## **1.1 Характеристика природних комплексів міста Хмельницького**

Місто Хмельницький розташоване в південно-західній частині України на Волино-Подільській височині. Займає площу 93,05 км<sup>2</sup>, що становить 0,02 % обсягу території України. Від північного заходу до південного сходу місто простягається на 15 км, а в перпендикулярному напрямку – на 10 км. Також варто відзначити, що Хмельницький є обласним центром Хмельницької області [6].

Ландшафт міста сформувався в результаті взаємодії тривалих ендегенних, екзогенних та антропогенних процесів. Територія міста характеризується хвилясто-рівнинною поверхнею та горбисто-балочним рельєфом. Найвищі точки спостерігаються на північній околиці, де вони досягають висоти до 389 м, тоді як найнижчі (до 277 м) спостерігаються в долинах річок. Різниця відносних висот варіюється від 80 м до 85 м [6].

Ландшафти формувалися в результаті взаємодії основних компонентів – гірських порід, води, повітря та живої природи, в умовах конкретного середовища, і прийняли характерний вигляд в просторовому вимірі. Територія міста та його околиць відноситься до лісостепового типу подільських ландшафтів, які входять до групи ландшафтів центральноподільського підтипу в рамках Вовчко-Бужоцького природного району. Хмельницький розташований у лісостеповій зоні [6-7].

Клімат та погодні умови у місті обумовлені радіаційними та циркуляційними процесами помірно-континентального сектору атлантично-континентальної кліматичної зони, що належить до помірного поясу Східної Європи. Загалом, характер клімату є помірно-континентальним з м'якою зимою та вологим літом. Кліматичні умови відображаються в

спостереженнях метеостанції Хмельницький, розташованої на висоті 290 м над рівнем моря [6-7].

Аналіз довготривалих даних щодо швидкості та напрямку вітру показує, що середня швидкість вітру коливається від 2,6 м/с до 4,2 м/с, при цьому напрямок вітру є змінним, з певним переважанням напрямку Південно-Східний. Наведена статистична інформація отримана з сайту Українського гідрометеорологічного центру (див. рисунок 1.1) [6].

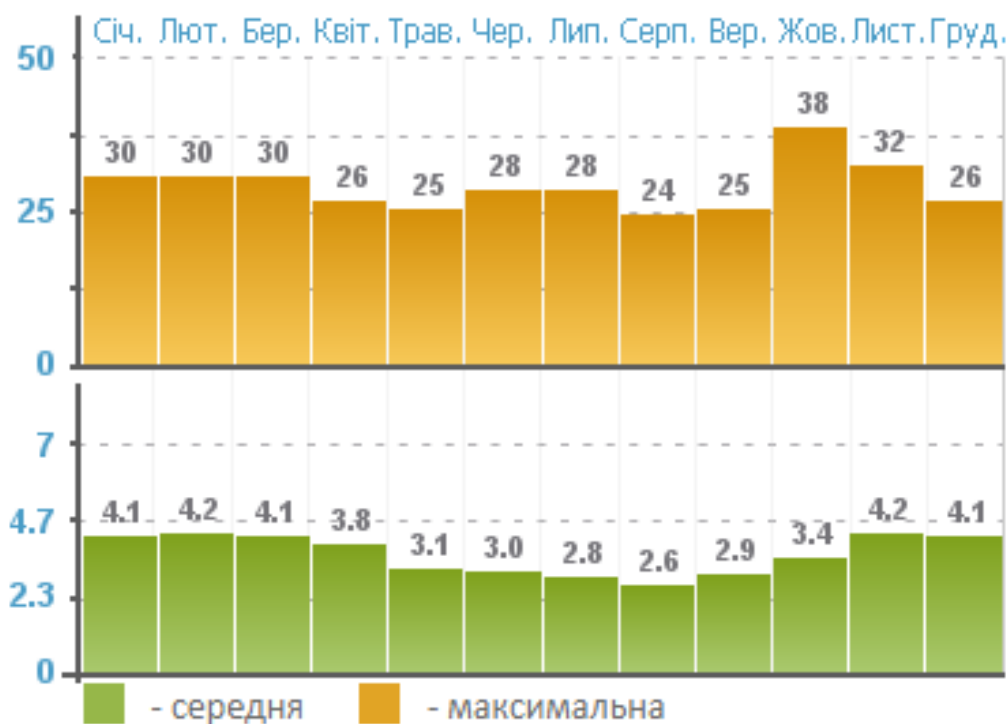


Рисунок 1.1– Графік змін швидкості вітру

Водні ресурси включають різноманітні водойми, зокрема річку Південний Буг, що є основна водною артерією міста, річку Кудрянку (відому також як під назвою Самець) і річку Плоску (праву притоку Південного Бугу) (див. рисунок 1.2). Окрім того, водні об'єкти включають озеро в Північному мікрорайоні, ставки у мікрорайонах Дубове та Ружична, а також численні невеликі водойми, такі як струмки, потічки і ставки. Усі річки характеризуються змішаним типом живлення: навесні вони поповнюються талою водою від снігу, а влітку – дощовими опадами [8].

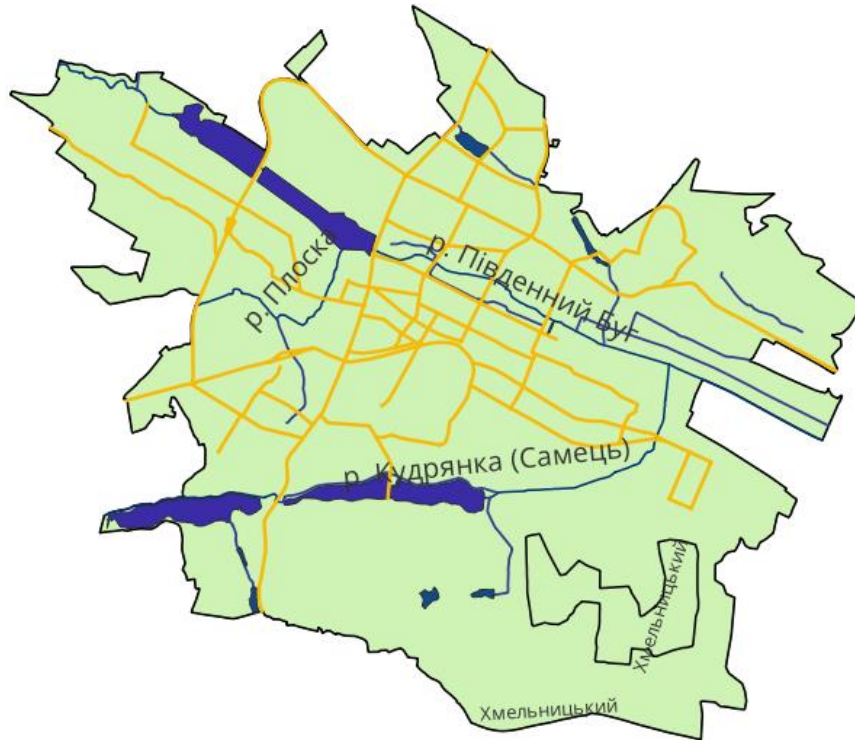


Рисунок 1.2 – Фрагмент геоінформаційної системи. Шари із водними об'єктами міста (річки)

Річка Південний Буг прокладає свій шлях через місто від північного заходу до південного сходу. Витік річки знаходиться у селі Холодець, гирло – Бузький лиман у Чорному морі. Довжина річки 806 км, кількість приток – 1046. Загальна довжина приток – 2493 км. Площа всього басейну річки – 4590 км<sup>2</sup>. У межах міста ця річка має дві праві притоки і один ліву. У 1956 році було запущено у використання міське водосховище на Південному Бузі, призначене для відпочинку та забезпечення промисловості водою. Згідно з технічним паспортом, параметри цього водосховища включають довжину – 1,15 км, максимальну ширину – 700 м, максимальну глибину – 5 м, площу водного дзеркала – 0,8 км<sup>2</sup>, об'єм – 2,8 млн. м<sup>3</sup>, об'єм стоку на рівні 50 % забезпеченості щорічно – 67,1 млн. м<sup>3</sup>, та об'єм стоку на рівні 50 % забезпеченості протягом повені тривалістю 45 днів – 21,5 млн. м<sup>3</sup> [8].

Річка Пlosка є правою притокою річки Південний Буг і входить до її водного басейну. Витока річки знаходиться в с. Хоминці. Довжина Пlosки – 30 км, кількість приток – 31. Загальна довжина усіх приток річки – 79 км. Площа басейну – 128 км<sup>2</sup>. Належить до Басейну південного Бугу. Річка відноситься до категорії малих, а її басейн характеризується високим ступенем засвоєння людською діяльністю [8].

Річка Кудрянка (Самець) входить до басейну річки Південний Буг і є її другою правою притокою. Витока річки знаходиться у с. Кудринці. Довжина – 25 км, кількість приток – 38. Загальна довжина приток – 70 км. Площа басейну – 92,4 км<sup>2</sup>. Ця річка віднесена до категорії малих водойм, а її басейн характеризується високим рівнем господарського використання та ерозією ґрунтового покриву. На річці Кудрянка в межах міста розташоване Дубівське водосховище і два ставки: Дубівський та Ружичнянський (див. рисунок 1.3). Використовують ці водойми для риборозведення, любительської риболовлі та з метою рекреації [8].

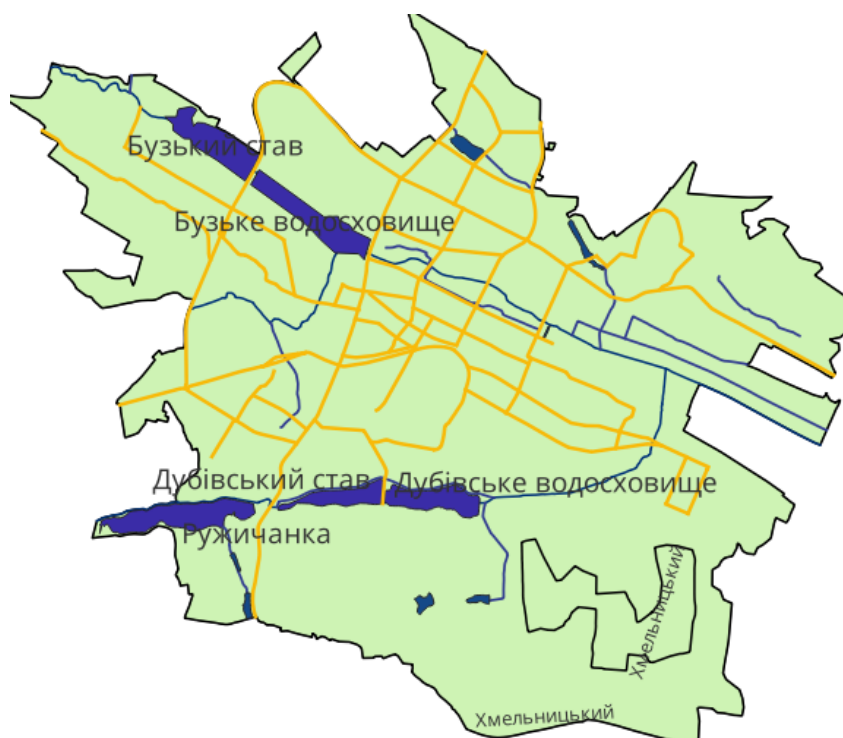


Рисунок 1.3 – Фрагмент геоінформаційної системи. Шари із водними об'єктами міста (ставки і водосховища)

Ще одна невелика річка, яка є лівою притокою річки Південний Буг, та не має офіційної назви, протікає в межах міста. На ній розташовані два ставки: верхній у мікрорайоні міста «Озерна» та нижній у мікрорайоні «Лезнево». Ці водойми використовуються для любительської риболовлі та відпочинку [8].

Вода в поверхневих водоймах і водотоках має низький вміст мінералів, що є характерним для річок верхньої частини басейну Південного Бугу. Завдяки достатній кількості опадів і помірно низьким середньорічним температурам повітря, втрати вологи від випаровування є незначними. Розташування території у межах Верхньобузької височини з висотами від 380 м до 396 м сприяє ефективному надходженню атмосферних опадів до річкової мережі і формуванню води з хімічним складом, відзначеним низькою мінералізацією [8].

Природні та штучні зелені зони в межах міста Хмельницького і його околиць формують умовно-природні ландшафти, які відіграють важливу роль у збереженні природного середовища (див. рисунок 1.4). Ці зони включають природні ландшафти, які залишилися непорушеними, а також створені штучні зелені насадження, такі як парки, сквери, алеї та інші [8].

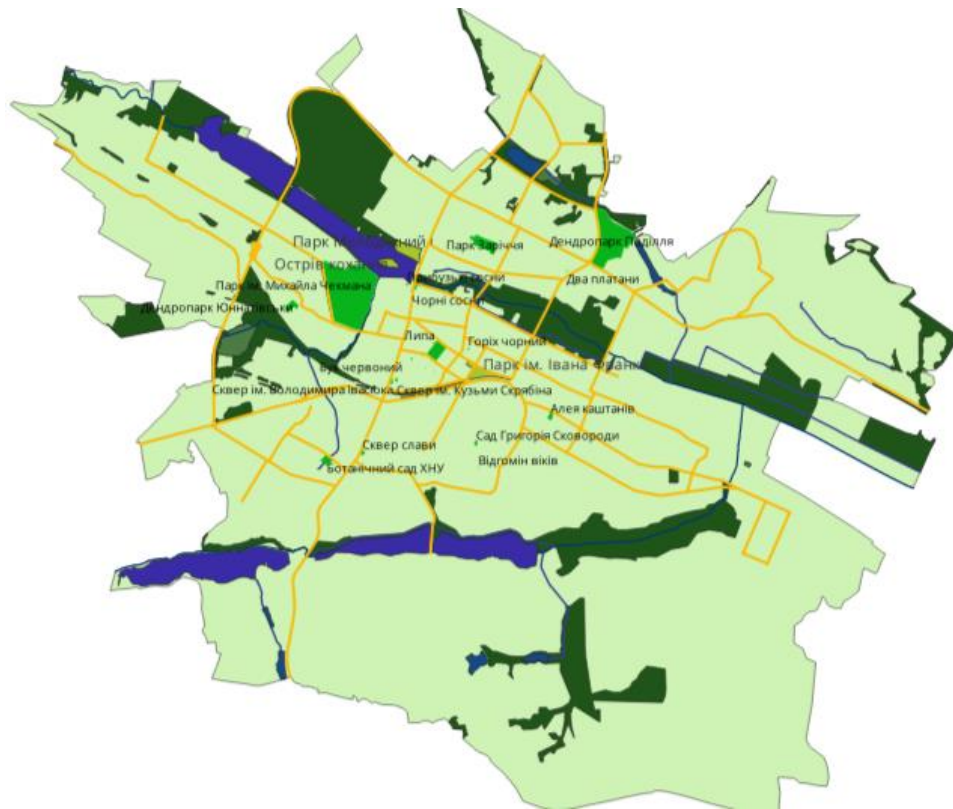


Рисунок 1.4 – Фрагмент геоінформаційної системи. Шари із зеленими насадженнями

Ці зони мають позитивний вплив на екологічну ситуацію та служать показником екологічного благополуччя. Згідно з офіційною інформацією до 2016 року, загальна площа зелених насаджень загального користування в місті Хмельницькому становила 112,83 га. Протягом періоду з 2016 року по 2020 рік понад 190 га території було відведено під парки та сквери [6].

Зелені насадження в межах міста Хмельницького в основному є штучними, і лише на околицях та в заплавах річок можна знайти залишки природної рослинності. Загалом рослинний покрив міста Хмельницького має велику фрагментацію, де окремі ділянки розділені тротуарами, автомобільними та залізничними шляхами, будівлями і т.д [6].

На ділянках, де раніше були природні ліси і заплавні зони, наразі росте рослинність, що характеризується лучними, болотними, сільськогосподарськими та рудеральними видами. Деревна рослинність сконцентрована в центральних частинах міста (парки, сквери) та на

північному сході (дендропарк), тоді як у районах сучасної міської забудови з великою кількістю поверхів вона зустрічається в обмеженій кількості [6-7].

Ґрунтовий покрив на території виник під впливом різноманітних чинників, таких як ґрунтоутворні породи, рельєф, клімат, рослинність та вплив людської діяльності. Можна спостерігати різні типи ґрунтів, такі як леси, суглинки, піски, супіски, вапняки та глини, а також алювіальні відклади. Найпоширенішими та високопродуктивними є чорноземи глибокі, темно-сірі, опідзолені ґрунти, чорноземи опідзолені, лучно-чорноземні та чорноземно-лучні [6-7].

## **1.2 Особливості флористичного та фауністичного складу досліджуваної території**

Флора визначається характером лісостепової зони, а ліси, що існують в цьому регіоні, відносяться до типу лісів середньоевропейського розповсюдження. Основними представниками лісової рослинності є граб, а також серед деревних видів часто зустрічаються дуб, ясен, липа, клен, явір, берест, осика, тополя, дика груша, дика яблуня, черемха, черешня та інші [7-8].

У долинах річок, що входять до басейну Південного Бугу, розповсюджені рослинні угруповання, які виникли на основі природних евтрофних боліт і заплавних лісів, зокрема біло-вербових, ясенево-липових та вільхових. Зараз рослинний покрив пережив значні зміни і залишилися

лише фрагменти цих лісів. Більша частина боліт була осушена, що спричинило докорінні трансформації в цілій екосистемі [7-8].

Трав'янистий покрив в лісах представлений різноманітним та багатим рослинним складом. Серед видів, що часто зустрічаються, можна виокремити копитняк європейський, осоку лісову, медунку темну, веснівку дволисту, вороняче око, цирцею звичайну, підлісник європейський, зеленчук жовтий, яглицю, а також лісові папороті, такі як щитник чоловічий та шартський, безщитник жіночий. Весною можна спостерігати яскраві синузії весняних ефемероїдів. До числа рослин, що часто зустрічаються у весняному лісі, входять ряст ущільнений та порожнистий, анемона жовтецева, гусячі цибульки мала та жовта, зірочник ланцетолистий. Також можна зустріти печіночницю звичайну, барвінок, проліски дволисті, пшінку весняну, купину багатоквіткову, адоксу мускусну та інші [7-8].

У рослинному складі заплавних боліт переважають очерет, осока омська, чорна і здута. Розповсюдженими видами є вербозілля звичайне, жовтець повзучий, підмаренник болотний, плакун верболистий, чистець болотний. В повітряно-водному середовищі переважно зустрічається різнотрав'я, при цьому очерет звичайний, рогіз широколистий і вузьколистий, а також є найбільш поширеним лепешняк великий [7-8].

Серед водних рослинних угруповань найчастіше можна виявити ценози, що включають спіроделу багатокореневу і ряску малу. Також широко поширені ценози куширу темно-зеленого, елодеї канадської, водяного різака алоєвидного, жабурника звичайного та водопериці кільчастої. З числа рослин, включених до Зеленої книги, в цих угрупованнях можна визначити глечики жовті та латаття сніжно-біле [7-8].

На території Хмельницької міської територіальної громади можна виявити рослини, які внесені до Червоної книги України. До числа таких видів входять підсніжник білосніжний, гніздівка звичайна, лілія лісова, а також скополія карніолійська. Крім того, на території можна зустріти

рослини, які є об'єктами охорони, такі як арум Бессерів, воронець колосистий, дзвоники персиколісті [7-8].

Процес урбанізації супроводжується порушенням природного рослинного покриву, який піддається значним антропогенним змінам: зменшується площа, спрощується структура, зростає роль синантропних угруповань. Одночасно внаслідок цього поступово зникають первісні фітоценози, а також спостерігається поява багатьох неаборигенних інвазійних видів рослин, що в суттєвий спосіб порушують структуру біогеоценозів [7-8].

Різноманіття тваринного світу Хмельницької територіальної громади включає представників водно-болотного зооценозу, зооценозу лук і пасовищ, зооценозу оброблюваних угідь і зооценозу широколистих лісів [7-8].

Серед представників іхтіофауни велика кількість карася сріблястого, краснопірки звичайної, плітки звичайної, окуня звичайного, йоржа звичайного. Ще однією численною групою є щука звичайна, лящ звичайний, короп звичайний, судак звичайний. Також в середовищі акліматизовані амур білий і товстолобик [7-8].

У світі земноводних представлені різноманітні види, такі як ропуха сіра та землянка звичайна, а також жаби трав'яна, озерна і ставкова, разом з райкою звичайною. Також час від часу можна зустріти тритона звичайного та кумку червоночереву. Щодо плазунів, є досить поширеним вуж звичайний, і час від часу можна зустріти ящірок прудку і живородну, а також черепаху болотяну [7-8].

Найбільш численними серед птахів часто можна спостерігати такі види, як зяблик, кропив'янка чорноголова, вільшанка, дрозди співочий і чорний, чикотень, горобець хатній, та берестянка. Серед хижих птахів можна відзначити яструба малого та сову вухату [7-8].

Серед рідкісних видів птахів можна зазначити лелеку чорну, гоголя, креха середнього, беркута, підорлика малого, луня польового, сапсана,

орлана-білохвоста, орла-карлика, скопу, голуба-синяка, жовну зелену, сорокопуда сірого та інші [7-8].

Серед ссавців поширені зайці-русаки, білки руді, польові та лісові полівки, вовчки горішникові та бурозубки звичайні, їжаки білочереві, кроти європейські; менш поширені вовчки сірі та лісові, рясоніжки звичайні і полівки-економки. Серед хижих ссавців можна відзначити ласку малу та куницю лісову, а також лисицю звичайну [7-8].

Серед рукокрилих періодично можна спостерігати нічницю велику, вуханя звичайного, а також, рідше, кажана пізнього та нетопира лісового. Найчисленнішим видом є вечірниця руда, яка занесена до Червоної книги України. У водоймах зустрічається червонокнижна видра річкова. З крупних ссавців можна відзначити наявність козуль європейських і диких свиней [7-8].

### 1.3 Природно-заповідний фонд міста Хмельницького

Природно-заповідний фонд міста Хмельницького включає в себе 23 території та об'єкти природного значення на місцевому рівні (таблиця 1.1) [8-9].

Таблиця 1.1 – Природно-заповідний фонд міста Хмельницького

Назва об'єкта	Площа, Га	Місце розташування	Рішення, згідно з яким створено (змінено)
1	2	3	4
Ботанічна пам'ятка природи			
Алея каштана кінського	0,5	вул. Чорновола, 24	Рішення ОВК № 213 від 14.07.1977
Бук червоний	0,012	вул. Гагаріна,	Рішення ОВК №358-р від

		53	22.10.19694
Бук червоний	0,01	вул. Героїв Майдану, 24	Рішення ОВК №358-р від 22.10.1969
Бук на Володимирській	0,01	вул. Володи- мирська, 74	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Відгомін віків	0,01	Вул. Петра Болбочана, 6	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Горіх чорний	0,02	вул. Пилипчука, 5	Рішення ОВК № 213 від 14.07.1977
Два платани	0,01	Старокостянти ні-вське шосе, між 12 та 14/1	Рішення обласної ради від 28.06.2023 № 22-16/2023
Клен театральний	0,3438	вул. Соборна, 60	Рішення обласної ради від 28.06.2023 № 22-16/2023
Липа звичайна	0,02	вул. Грушевсь- кого, 64	Рішення ОВК № 213 від 14.07.1977
Прибузькі сосни	0,025	вул. Кам'яне- цька, 2	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Сосни Чорні	0,01	вул. Пушкіна 11, 13	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Тисячі сердець	0,001	вул. Володи- мирська, 85	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Сад Григорія Сковороди	0,1914	вул. Ярослава Мудрого, 2	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Сквер імені Володимира Івасюка	0,1907	вул. Кам'я- нецька (між будівлею Хмельницької обласної філармонії та вул. Кам'я- нецькою	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Сквер імені Кузьми Скрябіна	0,0833	вул. Гагаріна, на території Хмельницької обласної філармонії	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Сквер пам'яті героїв та жертв Чорнобиля	0,2981	вул. Кам'я- нецька, 1	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Сквер Слави	0,3438	вул. Кам'я- нецька, (по вул. Кам'я- нецькій, 111 та вул. Сковороди та Кам'янецькою	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020
Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва			
Парк культури і відпочинку імені Михайла Чекмана	140,45	вул. Проску- рівського підпілля	Виконком обласної ради депутатів трудящих від 05.05.1975 №132, Рішення обласної ради від 16.12.1998 року №13, Рішення обласної ради від 18.11.2009 №20- 24/2009
Парк Заріччя	4,3	обмежений вулицями Свободи, Зарічанська, Перемоги, Пр.Миру	Рішення обласної ради від 30.03.2004 №22- 11/2004
Сквер імені Т.Г. Шевченка	4,7	вул. Грушевського	Рішення обласної ради від 04.04.2001 №10, Рішення обласної ради від 21.03.2002 №11

Кінець таблиці 1.1

1	2	3	4
Ботанічні сади			
Ботанічний сад Хмельницького національного університету	2,21	вул. Інститутська, 11	Рішення обласної ради від 18.11.2009 р. № 20- 24/2009
Дендрологічні парки			
Поділля	30,5	на перетині вул. Проспект Миру та Старокостян- тинівське шосе	Розпорядження виконкому обласної ради депутатів трудящих від 30.01.1969 №72-р, Рішення сесії обласної ради від 11.07.2007 № 23-9/2007
Юннатівський	2,06	прв. Шкільний, 8	Рішення обласної ради від 24.06.2020 № 60- 33/2020

Таким чином, відсоткове співвідношення природно-заповідного фонду міста Хмельницького до загальної площі складає всього 2 %, що є значно нижчим в порівнянні з національним середнім показником заповідності для України, який становить 6,77 % (див. рисунок 1.5).

На засіданні 28 червня 2023 року депутати Хмельницької обласної ради прийняли рішення про скасування статусу ботанічної пам'ятки для ясена на Майдані (Рішення обласної ради від 28.06.2023 № 22-16/2023). У поясненні до цього рішення зазначається, що причиною є аварійний стан дерева, викликаний поширенням гнилі у прикореневій частині стовбура та кореневій

системі. Цей стан вважається загрозою для життя та здоров'я людей, а також для цілісності транспортних засобів [10].

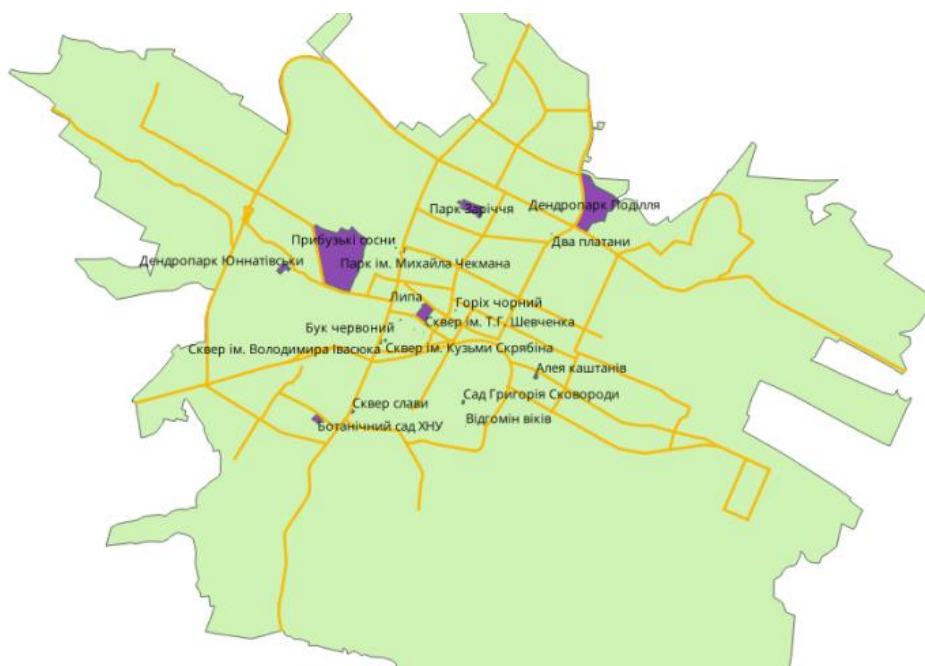


Рисунок 1.5 – Фрагмент геоінформаційної системи. Шар із оцифрованими об'єктами природно-заповідного фонду міста

Територія Хмельницької територіальної громади є часткою регіональної екомережі, забезпечуючи її цілісність і входячи в склад Національної екологічної мережі України та Загальноєвропейської екомережі (див. рисунок 1.6) [11].

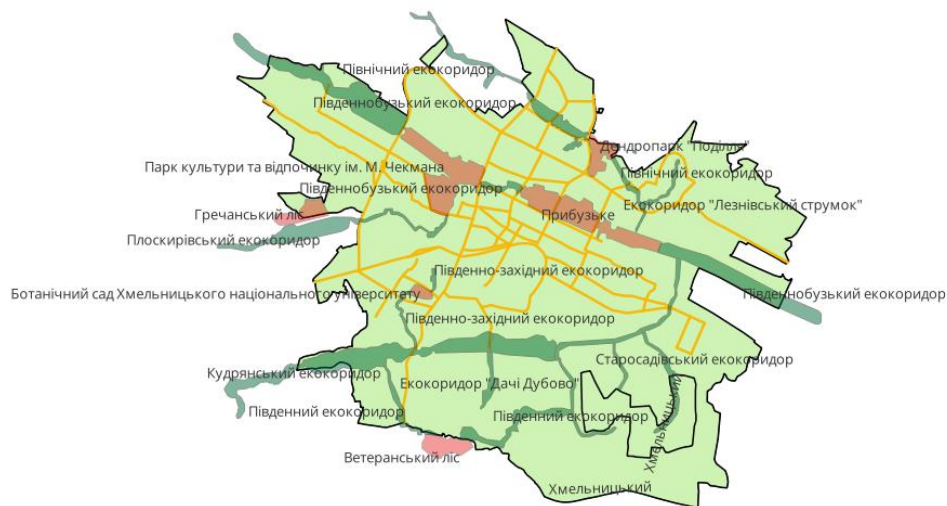


Рисунок 1.6 – Фрагмент геоінформаційної системи. Шари з оцифрованими елементами екомережі міста

Схема екологічної мережі міста Хмельницького була схвалена рішенням тридцять четвертої сесії Хмельницької міської ради від 9 жовтня 2019 року під номером 37. Екологічна мережа міста Хмельницького охоплює площу 1234,83 га, що становить 11,54 % загальної площі міста. Загальна довжина екокоридорів у мережі складає 59,16 км. Структуру екомережі формують природні ядра та екокоридори на рівнях національного, регіонального і місцевого значення, а також відновлювальні та буферні території (таблиця 1.2) [11].

В межах Хмельницького виділено шість природних ядер, які є центрами біорізноманіття: Дендропарк Поділля, Парк культури і відпочинку ім. М. Чекмана, Прибузьке, Гречанський ліс, Ботанічний сад Хмельницького національного університету(регіонального рівня), та Ветеранський ліс (локального рівня). Ці ядра пов'язані 10 екокоридорами різних рівнів, зокрема одним національного рівня (Південнобузький), трьома регіонального рівня (Північний, Пłosкирівський, Кудрянський), і шістьма локального рівня екокоридорами (Лезнівський струмок, Південно-Західний, Південний, Дачі Дубово, Старосадівський, Книжковецький) [11].

Таблиця 1.2 – Перелік структурних елементів екомережі м. Хмельницького

Структурний елемент екомережі	Власна назва елемента	Довжина, км	Площа, га
1	2	3	4
Сполучна територія національного рівня	Південнобузький екокоридор	14,4	333,0
Природні ядра регіонального рівня	Парк культури і відпочинку ім.М.Чекмана	-	142,4
	Прибузьке	-	162,03

## Продовження таблиці 1.2

Сполучна територія регіонального рівня	Північний екокоридор	5,25	58,37
Природне ядро регіонального рівня	Дендропарк Поділля	-	38,96
Відновлювальні території	Озерненська	-	0,07
	Бандерівська	-	0,15
Сполучна територія локального рівня	Екокоридор «Лезнівський струмок»	1,63	7,6
Сполучна територія регіонального рівня	Плоскирівський екокоридор	5,75	20,95
Природні ядра регіонального рівня	Парк культури і відпочинку ім. М.Чекмана	-	142,4
	Гречанський ліс	-	39,14
Сполучна територія регіонального рівня	Кудрянський екокоридор	10,85	268,32
Сполучна територія локального рівня	Південно-західний екокоридор	3,03	4,51
Природне ядро регіонального рівня	Ботанічний сад Хмельницького національного університету	-	6,86
Відновлювальна територія	Тернопільська	0,32	0,25
Сполучна територія локального рівня	Південний екокоридор	9,2	70,98

Кінець таблиці 1.2

Природне ядро локального рівня	«Ветеранський ліс»	-	46,17
Відновлювальна територія	Поворот на Розсошу	-	0,08
Сполучна територія локального рівня	Екокоридор «Дачі Дубово»	1,38	12,75
Сполучна територія локального рівня	Старосадівський екокоридор	1,31	4,28
Сполучна територія локального рівня	Книжковецький екокоридор	3,06	17,78

Структура локальної екомережі сформована на основі мережі природно-заповідних територій та об'єктів. Екокоридори та природні ядра визначені в межах річкових долин та зелених зон, що є необхідною умовою для їхнього захисту, забезпечення обміну генетичним матеріалом та збереження міграційних маршрутів для різноманіття біоти [11].

## **2 ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СВІТІ**

### **2.1 Загальна характеристика геоінформаційних систем**

Геоінформаційні системи представляють собою інноваційну технологію, призначену для картографування та аналізу різноманітних об'єктів та подій на Землі. Ця технологія об'єднує традиційні операції роботи з базами даних, такі як запити і статистичний аналіз, з перевагами повноцінної візуалізації та географічного (просторового) аналізу, які надає карта. ГІС відрізняються від інших інформаційних систем завдяки унікальним можливостям для вирішення різноманітних завдань, пов'язаних з аналізом та передбаченням природних явищ і подій, розумінням та визначенням основних факторів і причин, а також можливих наслідків [12-13].

Така система забезпечує можливість накопичення та обробки просторової інформації, швидко знаходити необхідні дані та представляти їх у зручному для використання форматі. Вона створюється для автоматизації обробки інформації за допомогою сучасних комп'ютерних методів і допомагає відображати взаємозв'язки в просторі [12].

ГІС виконують п'ять основних функцій. Інформаційно-довідкова забезпечує доступ та пошук інформації. Автоматизоване картографування охоплює створення карт та інших географічних візуалізацій. Просторовий аналіз та моделювання спрямовані на розуміння і вивчення просторових взаємозв'язків та створення моделей для дослідження. Моделювання процесів включає репрезентацію та аналіз різних природних та соціальних процесів в геопросторі. Підтримка прийняття рішень надає інструменти для обробки даних та прийняття обґрунтованих рішень на основі географічної інформації [14].

В сучасному світі такі технології застосовуються в різних галузях, зокрема:

- управління земельними ресурсами та ведення земельних кадастрів;
- інвентаризація та облік об'єктів розподіленої виробничої інфраструктури та їх управління;
- тематичне картографування в різних сферах застосування;
- морська картографія та навігація;
- аеронавігаційне картографування та управління повітряним рухом;
- навігація та управління рухом наземного транспорту;
- дистанційне зондування;
- управління природними ресурсами, такими як водні та лісові;
- моделювання процесів у природному середовищі та управління природоохоронними заходами;
- моніторинг стану навколишнього середовища;
- реагування на надзвичайні та кризові ситуації;
- геологічні дослідження, видобуток мінерально-сировинних ресурсів;
- планування та управління перевезеннями;
- проектування, інженерні дослідження та планування в будівництві;
- планування розвитку транспортних та телекомунікаційних мереж;
- комплексне управління та планування розвитку територій міст;
- сільське господарство;
- маркетинг та аналіз ринку;
- археологія;
- безпека, військова справа та розвідка;
- освіта загалом та спеціальна освіта [14].

Інформацію в ГІС можна подати двома способами: растровим та векторним.

Растровий спосіб формалізації просторових даних, або растрова модель просторових даних, у найпростішому випадку включає в себе представлення просторових об'єктів у вигляді мозаїки, яка повністю покриває вивчену територію [12-13].

Векторний метод представлення просторової інформації, або векторна модель, визначається як метод формалізації просторових даних, що базується на використанні набору елементарних графічних об'єктів, також відомих як «графічні примітиви» [12-13].

Створення геоінформаційної системи вимагає значної уваги, наполегливості, терпіння та високого рівня компетентності від фахівця. Навіть невеликі помилки чи пропуски, які виникають під час введення даних, можуть призвести до спотворення інформації на подальших етапах обробки, повністю виключаючи отримання достовірних результатів [13].

Перед початком введення даних проводиться аналіз інформаційних потреб системи на всіх етапах її функціонування. Здійснюється відбір джерел даних, формується перелік інформаційних об'єктів, створюються детальні формалізовані описи цих об'єктів і розробляється план поетапного введення інформації [13].

Використання геоінформаційних систем дозволяє проводити одночасний аналіз багатовимірних даних за допомогою цифрових карт, спрощує процедури екологічного прогнозу та оцінки комплексного впливу на природне середовище. Крім того, вона сприяє оперативному виявленню аномалій та ухваленню необхідних заходів для їх усунення [14].

Використання технології для моніторингу стану навколишнього середовища представляє собою потужний інструмент, який надає можливість збирати, аналізувати та візуалізувати географічні дані про природне середовище. Цей підхід дозволяє експертам отримати глибше розуміння змін,

що відбуваються у природних екосистемах та впливають на навколишнє середовище [14].

Геоінформаційні системи дозволяють моніторити зміни використання земель, виявляти незаконну забудову, незаконну вирубку лісів, деградацію природних угідь та зміну меж природоохоронних територій. Це забезпечує можливість контролювати порушення екологічних стандартів і вживати необхідні заходи для їх протидії. У базі даних збираються і відображаються географічні дані, які дозволяють експертам аналізувати та візуалізувати ці зміни для виявлення негативних впливів на навколишнє середовище та прийняття відповідних заходів управління і охорони [12,14].

## **2.2 Короткий огляд історії виникнення геоінформаційних систем**

Географічні інформаційні системи є потужними інструментами, що використовуються для моделювання, аналізу та виконання різноманітних завдань. Вони мають велике значення для розвитку міських територій та в сучасному швидкозмінному технологічному середовищі дозволяють прогнозувати розвиток різних ситуацій та планувати діяльність у багатьох сферах людського життя [14-15].

Така система подібна до картографічного документа в тому сенсі, що вона містить базову карту, до якої можуть бути додані додаткові дані за необхідності. Однак, відмінністю є те, що вона не має обмежень стосовно кількості даних, які можуть бути додані до картографічного документа. ГІС використовує аналітичні методи та надає дані для підтримки аргументів та прийняття рішень [15].

У розроблену карту можна включати різноманітні дані, такі як географічні об'єкти, топографічні особливості, демографічні дані, кліматичні показники тощо. Ці дані можуть бути використані для виконання аналізу, моделювання та вирішення певних завдань. ГІС надають зручний

інструментарій для обробки та візуалізації даних, що дозволяє здійснювати глибокий аналіз та отримувати об'єктивну інформацію для підтримки рішень у різних галузях [15].

В 1832 році Шарль Піке вперше застосував концепцію географічної інформаційної системи, коли створив карту, що відображала спалах холери у 48 округах Парижа. Ця рання версія теплової карти стала проривом, який в подальшому вплинув на розвиток кількох галузей промисловості. Відтоді теплові карти стали важливим інструментом для аналізу розподілу певних явищ і показників на географічній основі, вносячи революцію у різні сфери діяльності [16].

У початку 20 століття була введена техніка фотоцинкографії, яка дозволяла розділяти шари на картах. Це дало можливість друкувати різні тематичні шари, але такий підхід ще не повністю задовольняв вимоги системності. Відсутність можливості аналізувати картографічні дані ускладнювала їхнє використання [16].

Початок 1960 років відзначився офіційним представленням першої геоінформаційної системи – Канадської геоінформаційної системи (CGIS). CGIS використовувала попередні концептуалізації і побудувала нове програмне забезпечення, обладнання та алгоритми для обробки просторових даних. Це був важливий крок в розвитку геоінформатики, оскільки CGIS вперше надавала можливість аналізувати картографічні дані [16].

У період з 1970 років до 1990 років розвиток ГІС можна розділити на наступні етапи, які були визначені Джоном Коппоком і Девідом Райндром:

- піонерський період (з кінця 1950 років по 1970 роки): був спрямований на концептуальну розробку та створення програмного забезпечення.

- експериментальний період (з середини 1970 років до початку 1980 років): у цей час уряд фінансував експериментальні дослідження в цій галузі, а системи ГІС продовжували використовуватися на мейнфреймах.

– комерційний період (1980 роки): в цей час візуалізація даних на картах стала предметом комерційного зацікавлення як з боку промисловості, так і уряду. Компанії, такі як Esri та Intergraph, стали домінуючими гравцями на ринку.

– період академічної участі (з кінця 1980 років до початку 1990 років): в цей час зростала академічна участь у розробці багат шарових карт, а конкуренція між постачальниками систем загострювалась. Це призвело до зменшення кількості компаній, які розробляли ГІС, і до появи зручних для користувача інтерфейсів на настільних комп'ютерах [16].

У 1992 році Майкл Гудчайлд офіційно представив світові науку геоінформатику, що стало великим проривом і спричинило значний інтерес у науковій спільноті. Журнали і академічні дослідження відтоді відображають цю зміну і продовжують вивчати геоінформатику до сьогоднішнього дня. Однак, з появою систем, які залучають широку громадськість і використовують неперевірені джерела даних, виникли ненаукові підходи та неавторитетна географічна інформація [16].

Поява ГІС та наукового розвитку в галузі географії змінили розуміння унікальності територій. Раніше основний акцент приділявся неподібності територій і їх значенню в академічній географії. Проте, з початку 1960-х років розвиток систем з інтерактивними картами привів до використання кількісних і теоретичних підходів, що змінило спрямування досліджень у географії на більш просторовий та науковий підхід [15].

Наприкінці 1980 років, завдяки розвитку геоінформаційних технологій, студенти отримали можливість вивчати та використовувати ці нові програмні засоби. Протягом останніх десятиліть з'явилося багато голосів, що продовжують підкреслювати унікальність та цінність класичної географії, а також різноманітні підходи, які зосереджують свою увагу на схожості та різноманітності різних територій. В останні роки багато практикуючих географів намагалися знайти баланс та поважати багатовекторність підходів, які визначають як унікальність, так і схожість різних територій [16].

Дотепер історичні згадки про виникнення ГІС завжди визнавали вагому роль тих, хто прагнув організувати, візуалізувати та інтерпретувати просторові дані. Ці обговорення часто належать до давнього минулого і згадуються картографічні роботи, наприклад, карту пересування військ, створену французьким картографом Берт'є під час битви за Йорктаун під час Війни за незалежність США. Також широко відомим є атлас, який супроводжував Другий звіт комісарів ірландських залізниць у 1837 році. Цей атлас включав дані про населення, транспортні потоки, топографію та геологію, які були нанесені на базову карту [15-16].

У численних історичних записках про геоінформаційні системи зазначається внесок доктора Джона Сноу, британського лікаря, який у 1854 році створив карту поширення холери в Лондоні. Ця карта надала переконливі докази того, що хвороба передається через забруднену воду, а не повітря. Картографічна робота Берт'є та Сноу була спрямована на візуалізацію даних, щоб їх можна було використовувати для кращого розуміння основних процесів, що лежать в основі цих даних, а також для забезпечення оперативного розуміння того, як їх можна використовувати [14-15].

Стейнц, Паркер і Джордан у своєму дослідженні, опублікованому в 1976 році, розглянули витоки методу накладення картографічних даних у плануванні. Вони згадали, що у США вже у 1912 році Воррен Меннінг використовував аналіз накладення в своїй роботі над плануванням міста Біллеріка, штат Массачусетс, а результати цього дослідження були опубліковані у 1913 році. Також було відзначено використання аналізу багатошарової карти у конкурсі на розробку плану міста Дюссельдорф в Німеччині, результати якого були опубліковані у 1912 році. Стейнц та його колеги також вказали на інші дослідження, які використовували нанесення даних шарами по всьому світу протягом першої половини 20 століття [16].

Проте, вони не згадали роботи Жаклін Тірвітт і Джека Віттла, які в своєму підручнику «Town and Country Planning Textbook; An Indispensable Book for Town Planners, Architects, and Students» докладно пояснили процес накладення та подальший просторовий аналіз. Також не було згадано, що інші розробники та науковці, зокрема Ієн МакГарг, швидко популяризували техніку нанесення даних на різні шари карти. Хоча книга МакГарга «Design with Nature» мала значний вплив на розвиток ГІС, в ній не було описано конкретної технології комп'ютеризації процесу створення багатошаровості, яка була формалізована в статті Стейнца, Паркера та Джордана і докторській дисертації Роджера Томлінсона [16].

Перед офіційним визнанням «геоінформаційних систем» і розвитком програмних та апаратних систем, у секретній військовій сфері відбувалися значні розробки. Наприклад, у 2000 році Кларк і Клауд ретельно проаналізували важливість американської програми розвідувальних супутників CORONA, яка була використовувана Центральним розвідувальним управлінням з 1959 року по 1972 рік, а також відповідну програму SAGE для обробки зображень, в контексті розвитку аналітичної картографії. Ці розробки мали значний вплив на подальший розвиток галузі. Таким чином, важливо відзначити, що до появи офіційних карт, як створювались на основі бази даних, існували важливі дослідження та розробки в області картографії, зокрема в рамках військового сектору, які вплинули на подальший розвиток цієї галузі [14,16].

У своєму дослідженні про ранню історію ГІС, що було опубліковане як частина першого значного огляду цієї галузі, Коппок і Райнд у 1991 році поділили свій огляд минулого на чотири періоди. У всіх цих періодах вони детально розглядають значення концептуальних розробок, прогресу та поліпшення програмного та апаратного забезпечення, а також внесок наукових груп, комерційних підприємств і урядових організацій. Цей підхід Коппока та Райнда став загальноприйнятим у науковій спільноті і

використовується для дослідження розвитку систем просторових даних [14,16].

Цікавими та альтернативними поглядами є роздуми Форесмана, який пропонує переглянути та переосмислити походження ГІС-технологій. Відредагована робота заслуговує особливу увагу, оскільки вона надає більш оперативне та растрово-орієнтоване висвітлення їх розвитку. Крім того, вона включає розділи, написані першими дослідниками, які займалися вивчення і розробкою картографічних систем, що робить її цікавою та важливим доповненням до загального розуміння історії цієї галузі [15].

Форесман в своїй хронології еволюції геоінформатики виділяє кілька «епох», які частково відповідають раніше згаданим:

- епоха піонерських розробок: з середини 1950 років до початку 1970 років, коли відбувалися перші кроки у розробці системи.

- епоха експериментальних досліджень і розробок: з початку 1970 років до середини 1980 років, коли проводилися активні дослідження та технічні вдосконалення.

- епоха впровадження та забезпечення роботи великих компаній: з початку 1980 років до середини 1990 років, коли великі підприємства впроваджували геоінформаційні технології.

- епоха додатків, що орієнтовані на загальний доступ: з початку 1990 років, коли стали поширені програмні продукти, доступні широкому загалу.

- епоха розвитку локальних і глобальних мереж: кінець 1990 років і 2000 роки, коли акцент зсунувся на розвиток мережових технологій та глобальний обмін геоінформацією [16].

Отже, Форесман визначає ці епохи як ключові періоди в розвитку геоінформатики, відображаючи прогрес і внесок різних суб'єктів, включаючи наукову спільноту, комерційні підприємства та уряди. Потім ці розробки співвідносяться з розробками в академічній географії, обчислювальній техніці та екологічній обізнаності [15-16].

## 2.3 Перспективи розвитку геоінформаційних технологій

До недавнього часу в галузі інформатики панувала парадигма, в якій геопросторові дані розглядалися як виняткові і вимагали застосування спеціалізованих систем керування базами даних (СКБД) для їх моделювання, зберігання, оброблення і використання. Це пояснювалося тим, що на початкових етапах розвитку геоінформатики загальні СКБД не могли ефективно вирішити проблеми, пов'язані з обробкою просторових даних. У результаті, існувало багато різних підходів і форматів, які були визначені різними постачальниками ГІС-інструментів, при цьому високий рівень уніфікації був досягнутий в обробці негеопросторових фактографічних даних в універсальних СКБД за допомогою стандартної мови SQL та уніфікованих механізмів і засобів доступу до даних [15-16].

Після цього ідея картографічних шарів стала основою, а основна увага дослідників була зосереджена на розробці інструментальних засобів для точного представлення геометричних об'єктів у файлових форматах окремих шарів, виконанні просторового аналізу з геометричними об'єктами та створенні електронних карт. Згодом почали з'являтися перші примітивні спроби отримати комплексні географічні дані, як поєднання просторових даних геоінформаційних шарів з фактографічними даними, які зберігаються в СКБД [15-16].

В результаті такого підходу керування географічними даними розділилося на два окремі середовища оброблення. Одне середовище (ГІС-середовище) було призначене для роботи з просторовими даними, тоді як інше середовище використовувалося для атрибутивних даних у фактографічних СКБД. Кожне середовище мало свою власну систему зв'язку з просторовими даними. Обмін геоінформаційними моделями між різними

виробниками в комплексних корпоративних системах здійснювався за допомогою конвертерів даних. Хоча така «геореляційна» структура даних отримала свою назву, вона залишалася недосконалою. Термін «геореляційна» вказував на можливість спільного використання унікальної для кожної моделі геопросторових даних та загальної реляційної моделі фактографічних даних. Наприклад, це може включати додаткову класифікацію геопросторових об'єктів та їх тематичне картографування [15].

Архітектура корпоративної ГІС з таким підходом має декілька основних недоліків. Перш за все, процес конвертування даних стає складною та трудомісткою процедурою, особливо при роботі з великими обсягами даних. Конвертовані дані часто не повністю відповідають вихідній структурі геоінформаційної моделі джерела. Це призводить до потреби в додаткових витратах на коригування моделі після конвертування, а також до дублювання інформації в різних форматах. В результаті цього ускладнюється забезпечення цілісності та адекватності моделей даних, а також ускладнюється керування даними в системі [16].

Розвиток геоінформаційних технологій суттєво залежить від загальних тенденцій у сфері інформаційних технологій в цілому. Сучасні концепції та методи, що застосовуються у системах баз даних геопросторової інформації, базуються головним чином на загальних принципах та методах, розроблених в останнє десятиліття для універсальних баз даних. Ці технології дозволили інтегрувати геопросторову інформацію, яка раніше розглядалася як окрема автономна технологія, у загальну сферу інформаційних технологій [15-16].

Однією з ключових характеристик сучасного етапу розвитку геоінформатики є впровадження промислових геоінформаційних систем нового покоління, які базуються на використанні універсальних систем керування базами даних для зберігання та аналізу геопросторових даних. Це свідчить про технологічну зрілість геоінформаційних систем з урахуванням застосування об'єктно-орієнтованого підходу до моделювання геопростору, а

також використання універсальних методів інформаційних технологій та повноцінну реалізацію клієнт-серверної архітектури в корпоративних і глобальних системах [14].

## **2.4 Застосування геоінформаційних технологій при проведенні моніторингу навколишнього природного середовища**

Систематичний контроль стану навколишнього середовища у місті забезпечує збір об'єктивних даних про якість повітря, якість води та стан ґрунту. Це дозволяє ідентифікувати джерела забруднення, такі як промислові підприємства, транспортні системи, муніципальні сміттєзвалища, а також визначити області з найвищими рівнями забруднення [17].

Геоінформаційні системи автоматизують процеси аналізу та прогнозування, дозволяють створювати моделі різноманітних явищ. Вони представляють переконливу альтернативу традиційним методам картографічного моделювання. Сучасні автоматизовані системи та технології управління і планування територій населених пунктів використовують цифрову картографію та програмне забезпечення для побудови та використання цифрових візуалізацій та обробки даних [17-18].

Застосування сполучення різних джерел даних, таких як супутникові знімки, датчики та лабораторні аналізи, в одному проєкті дозволяє оцінювати ступінь забруднення довкілля. Цей підхід допомагає виявити проблемні області, визначити джерела забруднення та розробити стратегії для його зменшення. Шляхом централізованого доступу до цих даних та їх аналізу на основі просторової інформації, експерти можуть отримувати цінні відомості про стан довкілля. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення та розробляти ефективні заходи для зменшення забруднення та збереження навколишнього середовища [18].

Багатошарові карти є незамінним інструментом для розробки планів збереження біорізноманіття та природних резерватів. З їх допомогою можна моделювати різні сценарії та оцінювати їх вплив на екологічну стійкість. Такі багаторівневі системи дозволяють визначити оптимальні зони відновлення та розширення природних середовищ, розробити мережу екологічних коридорів та зон відпочинку, спрямованих на збереження біорізноманіття [17].

За допомогою інформаційних технологій експерти можуть ідентифікувати області, де існує підвищений потенціал для виникнення природних лих. Вони аналізують просторові дані, пов'язані з геологічною структурою, кліматичними умовами та іншими факторами, що сприяють виникненню цих небезпек. Це дозволяє визначити території, де необхідні особливі заходи запобігання, моніторингу та готовності до реагування [19].

Геопросторова модель дозволяє аналізувати розподіл забруднюючих речовин у просторі та виявляти зони з високими рівнями забруднення повітря. Це дозволяє ідентифікувати джерела забруднення, такі як промислові підприємства, транспортні вузли, енергетичні установки тощо. За допомогою аналізу географічних даних і використання спеціалізованих моделей, можна оцінювати вплив цих джерел на якість повітря та екологічну ситуацію в цих територіях [20-21].

Використання геоінформаційних технологій для моніторингу стану навколишнього середовища є надзвичайно корисним управлінським інструментом, який сприяє ефективному використанню природних ресурсів та прийняттю обґрунтованих рішень щодо збереження довкілля та створення сталого розвитку міст [19].

За допомогою спеціалізованих програм експерти можуть виявляти проблемні ділянки, де відбувається незбалансоване використання ресурсів або деградація довкілля. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації виробництва, розвитку екологічно чистих технологій та організації ефективного управління природними ресурсами [18].

Крім того, доступ до систематизованих геопросторових даних спрощує процес визначення потенційних проблем та загроз для навколишнього середовища, такі як забруднення повітря, води або ґрунту, деградація екосистем, зниження біорізноманіття тощо. Це дає змогу розробляти стратегії збереження довкілля та впроваджувати необхідні заходи для попередження негативних наслідків [18].

## **2.5 Використання геоінформаційних технологій при прийнятті управлінських рішень**

Використання візуалізації в управлінських процесах допомагає створити підґрунтя для раціонального використання природних ресурсів, зменшення екологічного впливу та створення сталого розвитку міст. Це можливо завдяки збору точних та актуальних даних, їх аналізу та узгодженому прийняттю рішень, що сприяє підвищенню екологічної свідомості та забезпеченню збалансованого розвитку [18].

Однією з важливих переваг геопросторових систем є їх потенціал для планування розвитку міст з урахуванням екологічних аспектів. Шляхом аналізу просторових даних та використання спеціалізованих моделей можна визначити оптимальне розміщення інфраструктури, зони зеленого середовища та рекреаційні зони, забезпечуючи збалансований розвиток міст і збереження природних ресурсів [22].

Більше того, ГІС допомагають забезпечити прийняття обґрунтованих рішень у сфері охорони довкілля. Аналіз просторових даних дозволяє виявляти пріоритетні проблемні ділянки та визначати стратегії охоронних заходів. Наприклад, їх застосування може сприяти виявленню зон з високим ризиком екологічних подій, таких як забруднення, ерозія ґрунту або потенційні природні лиха. Це дозволяє розробляти плани запобігання та

реагування на такі ситуації, що сприяє збереженню довкілля та підвищенню стійкості міст до екологічних викликів [23].

Системи геопросторового аналізу відіграють важливу роль у врахуванні природних екосистем при розробці планів урбанізації. Вони надають засоби для аналізу та візуалізації географічних даних, що дозволяє знаходити оптимальні місця для будівництва і уникати впливу на екологічно важливі зони [22].

Отже, інтерактивні карти є потужним інструментом, який допомагає враховувати природні екосистеми при розробці планів урбанізації. Використання ГІС сприяє збереженню екологічно важливих зон, зменшенню впливу на природу та створенню сталого та збалансованого розвитку міст [22,24].

Ці перспективи демонструють важливість використання геоінформаційних технологій для оцінки стану природного середовища урбанізованих територій. Вони допомагають зрозуміти екологічні виклики, забезпечувати ефективне планування та управління містами, а також зберігати природні ресурси для майбутніх поколінь [24].

Тема використання ГІС у муніципальних системах не є новою, проте в Україні вона знаходиться на етапі активного розвитку. Формування систем з використанням геопросторової інформації про місто має свої особливості, які варто враховувати при їх розробці і впровадженні [21-22].

Міста можуть мати значні площі, тому формування бази потребує обробки великого обсягу географічних даних. Високий рівень густоти населення вимагає точності та швидкості обробки даних для забезпечення ефективності муніципальних послуг. Різноманітність міської інфраструктури, включаючи дороги, будівлі, водойми, зелені зони тощо, потребує детального відображення [24].

Інтерактивні карти для міста мають працювати на різних масштабах, відзеркалюючи як загальну картину міста, так і деталізовану інформацію про окремі райони. Для точного відображення міського середовища в

просторовій системі необхідна висока геодезична точність зібраних даних. Міські дані постійно змінюються, тому створені бази повинні мати механізми оновлення та синхронізації даних [22].

Такі карти можуть бути використані:

- для взаємодії з громадою, надаючи зручний доступ до географічної інформації та залучаючи громадян до процесу прийняття рішень;
- для планування розвитку міста, включаючи розташування нових будівель, інфраструктури та зон відпочинку;
- у моніторингу стану довкілля в місті, виявленні забруднювачів та розробці стратегій збереження навколишнього середовища [22].

У підсумку можна сказати, що використання геоінформаційних технологій в моніторингу стану навколишнього середовища в місті має значні перспективи. Завдяки візуалізації геопросторових даних можна здійснювати постійний моніторинг змін у природних системах міста, відслідковувати вплив людської діяльності на навколишнє середовище та виявляти екологічні проблеми [23-24].

## 3 ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО

### 3.1 Геоінформаційна система природних об'єктів міста Хмельницького

Багатошарова карта природних об'єктів міста Хмельницького, що являє собою геоінформаційну систему, умовно складається з трьох блоків елементів:

- структурні елементи для зручності сприйняття поданої інформації (наприклад, межі міста);
- основні елементи (шари з інформацією про об'єкти, які нас цікавили) (таблиця 3.1);
- карти забруднень.

Таблиця 3.1 – Структура геоінформаційної системи природних об'єктів міста Хмельницького

№ п/п	Назва шару	Кількість об'єктів	Інформація, що відображається
1	2	3	4
1	Екокоридори	9	Назва, площа, довжина
2	Ядра екомережі	6	Назва, площа
3	Вулиці міста	44	Назва
4	Рекреація	5	Назва, площа, дата створення, тип
5	Природно-заповідний фонд	23	Назва, площа, дата і категорія заповідання
6	Малі ставки	8	-
7	Великі ставки	5	Назва

8	Річки без назви	12	-
---	-----------------	----	---

### Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4
9	Річки	3	Назва, виток, гирло, кількість приток, назва басейну, довжина річки, площа басейну, ухил річки, висота, річкова сітка, тип живлення
10	Болота	6	-
11	Зелені зони	66	-

Загальна кількість шарів – 19 (див. рисунок 3.1). Оцифровано велику кількість об'єктів (до 187 одиниць) таких як: території природно-заповідного фонду, річки з притоками, ставки, водосховища, зелені насадження, болота та ін.

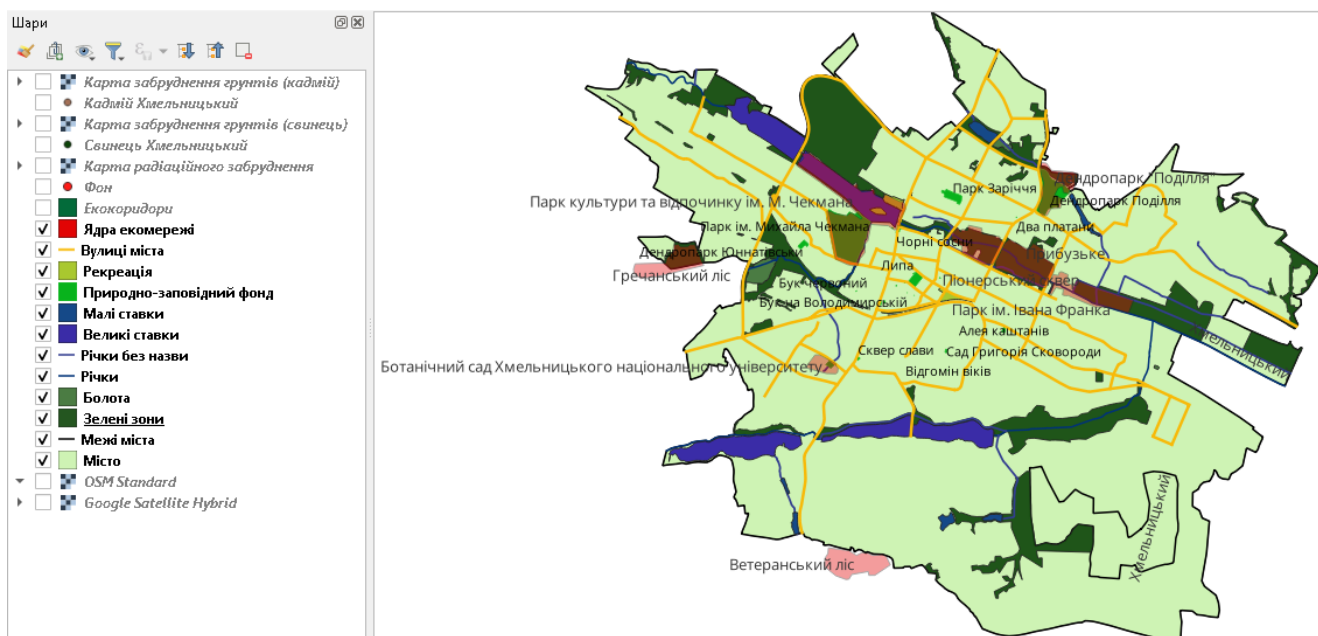


Рисунок 3.1 – Структура геоінформаційної системи природних ресурсів міста Хмельницького

Розробка інтерактивних карт передбачає також створення вичерпних баз даних про об'єкти. Перевагою геоінформаційних систем є їх гнучкість,

що робить роботу з такими базами легкою і продуктивною (див. рисунок 3.2).  
Всі таблиці у будь-який момент можна редагувати і доповнювати актуальною інформацією.



Рисунок 3.2 – Найпростіший приклад роботи з ГІС. Ознайомлення з інформацією про об'єкт

Зручність візуалізації геоданих дозволяє користувачам отримувати чіткий та зрозумілий образ географічної інформації. Це особливо корисно для аналізу та прийняття рішень. Зручність в інтеграції різних видів геоданих забезпечує комплексний погляд на проблему або завдання. Дані можна поєднувати з різних джерел для отримання повнішого розуміння ситуації.

### 3.2 Іонізуюче випромінювання та наслідки його впливу на довкілля та живі організми

Світова спільнота стикається з наростаючою проблемою негативного впливу радіації на довкілля. Це обумовлено постійним зростанням кількості радіоактивних речовин як природного, так і техногенного походження, а

також збільшенням інтенсивності космічного опромінення. У результаті цього екологічні системи або екосистеми Землі відчувають все більший вплив іонізуючого випромінювання [25].

Дослідження екологічного впливу іонізуючого випромінювання розпочалося після відкриття цього явища Вільгельмом Рентгеном у 1895 році та природної радіоактивності Анрі Беккерелем у 1896 році. Проблемою цікавилися Марія і П'єр Кюрі, які у 1898 році ввели термін «радіоактивність» і визначили, що уран може перетворюватися в інші радіоактивні хімічні елементи. Головним об'єктом радіаційно-екологічних досліджень кінця ХІХ століття залишалася структура атомів урану, радію, плутонію, цезію та інших хімічних елементів [26].

Серед радіоактивних ізотопів особливу небезпеку представляють  $^{137}\text{Cs}$  (Цезій) і  $^{90}\text{Sr}$  (Стронцій). Цезій накопичується у м'язах, замінюючи калій. Стронцій, завдяки своїй подібності до кальцію, легко проникає в кісткову тканину. З періодами напіврозпаду 32 роки і 27,7 років відповідно, ці елементи залишаються в організмі на тривалий час і накопичуються в дозах, достатніх для завдання шкоди здоров'ю [26-27].

Внаслідок Чорнобильської катастрофи та глобального антропогенного забруднення радіонуклідами природного середовища України, питання впливу природних і техногенних джерел радіації на екосистеми та здоров'я людини стає надзвичайно важливим. Серед об'єктів підвищеної природної радіоактивності можна виділити торієве і уранове зруденіння в кристалічних породах, а також уран і радон у ґрунтовому покриві та підземних водах [27].

В Україні основними техногенними джерелами радіації та виробниками різних класів радіоактивних відходів є:

- атомні електростанції;
- підприємства, які займаються видобуванням урану, його збагаченням та переробленням на ядерне паливо;
- медичні і науково-дослідні установи, промислові підприємства та інші організації;

– військові підрозділи, які використовують ядерні технології та радіоактивні речовини [28].

Висновки, отримані в результаті численних наукових досліджень, які оцінюють вплив радіоактивного забруднення на природне середовище, свідчать про серйозні екологічні наслідки, включаючи генетичні зміни в біоценозах. Основні екологічні наслідки включають:

- порушення загального стану природного середовища;
- зміни в структурі біоценозів;
- збільшення рівня смертності тварин і відмирання рослин;
- збільшення частоти генетичних мутацій;
- зміни у метаболізмі тварин;
- загальне підвищення радіочутливості біоценозів;
- прискорення еволюції шкідливих мікроорганізмів [25-26].

Дози опромінення людей можуть бути визнані як низькі, якщо вони еквівалентні рівню природного фону. Однак реальна ситуація є тривожною. Внаслідок отримання значних доз або тривалої дії іонізуючого випромінювання в дуже малих дозах, які перевищують допустимі норми, можуть розвиватися різноманітні захворювання:

- серцево-судинні захворювання;
- порушення генетичного коду (мутаційні зміни);
- ураження нервової системи, кровоносних та лімфатичних судин;
- порушення психічного та розумового розвитку;
- ураження гострою променевою хворобою;
- розвиток лейкозу, лейкемії та інших пухлинних хвороб крові;
- виникнення злоякісних новоутворень (раків) будь-яких органів;
- пошкодження органів зору, помутніння кришталика ока, розвиток катаракти;
- порушення обміну речовин та ендокринної рівноваги;
- розвиток імунодефіциту, підвищення чутливості організму до звичайних захворювань;

– прискорення старіння організму [25,28].

Існують численні наукові дослідження та публікації, які підтверджують зв'язок між впливом іонізуючого випромінювання і розвитком різних захворювань. Ці дослідження базуються на аналізі наслідків радіаційних подій, таких як аварія на Чорнобильській АЕС, атомні бомбардування Хіросіми та Нагасакі, а також інші джерела радіації, включаючи виробництво ядерних боєприпасів та медичне використання рентгенівського випромінювання [29-30].

Ці дослідження вказують на можливість розвитку різних захворювань внаслідок впливу радіації, таких як рак, катаракта, серцево-судинні захворювання, генетичні мутації та інші. Вони також допомагають у встановленні дозово-залежних зв'язків та розробці стандартів безпеки для захисту людей від небезпеки іонізуючого випромінювання [30].

Вивчення ефектів іонізуючого випромінювання на різних рівнях доз вказує на те, що навіть невеликі дози можуть викликати ушкодження ДНК. Це стосується доз від 0,02 Зв до 0,1 Зв, які можуть призвести до розривів ланцюжка ДНК. Ланцюг ДНК є ключовим компонентом генетичної інформації, і його ушкодження може мати важливі наслідки для клітин та організму в цілому [30].

Ці висновки базуються на результатах експериментів та спостережень в лабораторних умовах, а також на даних, отриманих в результаті досліджень, які включають в себе вплив різних доз іонізуючого випромінювання на клітини та організми. Важливо враховувати ці факти при оцінці ризиків радіаційного впливу на здоров'я [30].

Внаслідок іонізуючого випромінювання в уражених тканинах можуть відбуватися різні генетичні та біологічні зміни, що можуть призвести до різноманітних наслідків для організму. Хромосомні поломки та інші генетичні зміни можуть відбуватися в клітинах тіла, що може спричинити виникнення різних захворювань. Пошкоджені генетичні структури можуть сприяти неправильному діленню клітин і розвитку злоякісних пухлин.

Хромосомні перегрупування та мутації можуть впливати на генетичний матеріал, що може мати далекосяжні наслідки. Опромінення вагітної матері може призвести до вроджених вад у плоду та інших проблем розвитку. Ці наслідки є об'єктом уваги при оцінці ризиків та розробці стратегій захисту від іонізуючого випромінювання [29].

Оцінка стану навколишнього природного середовища в Україні ґрунтується на ряді критеріїв. Для хімічних речовин, що перебувають у навколишньому природному середовищі, враховуються гранично допустимі концентрації, що визначають максимально припустимі рівні концентрації забруднюючих речовин у повітрі, воді, ґрунті та інших компонентах навколишнього середовища. ГДК встановлюються для різних хімічних сполук з метою забезпечення безпеки для здоров'я людей та охорони природи. Для забруднюючих речовин, що потрапляють у довкілля внаслідок антропогенної діяльності, використовують гранично допустимі скиди та викиди, які обмежують кількість забруднюючих речовин, які можуть бути випущені чи скинуті у навколишнє середовище з різних джерел, таких як промислові установки чи інші джерела забруднення [30].

А для контролю радіаційного забруднення територій України використовують Норми радіаційної безпеки (НРБУ-97), що визначають допустимий рівень впливу радіації на людину та встановлюють допустимі дози опромінення. Ще одним важливим документом, що встановлює основні норми та вимоги для забезпечення радіаційної безпеки в Україні на рівні з НРБУ-97 є «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України». Ці нормативні акти і критерії є ключовими для контролю та регулювання впливу на навколишнє середовище та забезпечення здоров'я населення [31-32].

Для профілактики радіаційного зараження використовуються різноманітні організаційні методи та заходи, які включають:

- розробка нормативів – становлення максимально допустимих рівнів концентрації та обмеження кількості радіоактивних матеріалів, які можуть бути випущені чи скинуті у навколишнє середовище;
- моніторинг середовища – систематичне вимірювання та аналіз рівнів радіації у повітрі, воді, ґрунті та інших об'єктах;
- радіаційний контроль – п'остереження за рівнями опромінення на робочих місцях та в інших місцях, де можливий вплив радіації;
- дезактивація – видалення або нейтралізація радіоактивних матеріалів зі сміття, обладнання та інших об'єктів;
- застосування засобів індивідуального захисту та додержання правил безпеки для запобігання опроміненню працівників;
- інформування громадськості та вжиття заходів для захисту населення в разі радіаційних аварій [31-32].

Ці заходи спрямовані на мінімізацію впливу радіації на людей та довкілля та забезпечення безпеки в умовах можливого радіаційного зараження [31].

Вивчення впливу малих доз радіації на довкілля дійсно викликає складнощі через низку факторів, які впливають на процеси акумуляції радіонуклідів та їхній синергізм з іншими негативними чинниками навколишнього природного середовища [33-34].

Радіонукліди можуть акумулюватися в різних середовищах через фізичні процеси, такі як осадження або адсорбція на частках ґрунту. Деякі ізотопи можуть концентруватися в окремих регіонах або типах ландшафтів через особливості географії та геології. Радіоактивні елементи легко можуть потрапляти в живі організми через воду, ґрунт або харчі, а потім акумулюватися в їхніх тканинах. Цей процес може призводити до накопичення радіоактивних речовин у продовольстві та впливати на екосистеми [35].

Вплив радіації може підсилюватися або послаблюватися взаємодією з іншими стресорами, такими як забруднення хімічними речовинами, зміни

клімату чи втручання людини в екосистеми. Така взаємодія іонізуючого опромінення з іншими факторами забруднення називається синергізмом [35-36].

Зрозуміння цих процесів і їхніх взаємозв'язків важливе для точної оцінки впливу малих доз радіації на довкілля та визначення заходів для зменшення негативних наслідків. Дослідження в цій галузі є складним завданням, і воно продовжується для отримання більш повного розуміння цих процесів [35-37].

Синергізм, або взаємодія між різними видами забруднення, є справді складним і мало вивченим явищем, яке може підсилити негативний вплив кожного окремого чинника на довкілля. Як вказано, найскладнішим є врахування одночасної дії радіації із хімічним та фізичним забрудненнями [36-37].

Взаємодія радіації з пестицидами може призводити до збільшення токсичності для організмів, оскільки обидва чинники можуть впливати на клітинні механізми і викликати стрес. Ізотопи можуть взаємодіяти з важкими металами, збільшуючи їхню мобільність та токсичність для рослин і тварин. Одночасна експозиція радіації і електромагнітних полів може мати взаємодію, яка впливає на живі системи та екосистеми. Підвищення температури може змінити розподіл радіонуклідів у довкіллі і їхню біодоступність для організмів [37].

Це наголошує важливість інтегрованого підходу до оцінки впливу різних чинників на довкілля та розробки стратегій для зменшення загального навантаження на природні екосистеми. Сучасні дослідження у цій галузі спрямовані на розуміння точних механізмів взаємодії та розвитку методів для зменшення негативних наслідків синергізму різних видів забруднень [36].

### **3.3 Дослідження радіаційного стану міста Хмельницького**

Безпека людської життєдіяльності є однією з найважливіших умов для життя та праці. У 2022 році внаслідок воєнної агресії Російської Федерації проти України була порушена національна безпека країни. Захоплення Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС), постійні ракетні обстріли і мінування цивільної інфраструктури, лісів, полів, доріг спричинили руйнування, пожежі та перенесення радіоактивних речовин. Відповідно, це призвело до змін у рівнях забруднення довкілля, що значно впливає на умови життєдіяльності населення. Задача радіоекологічного контролю в урбоекосистемі полягає в кількісній та якісній оцінці параметрів радіаційної ситуації, обумовленої наявністю природних і техногенних джерел радіації, з метою оптимізації режиму проживання та господарювання в міському середовищі [38].

Контроль за радіаційною обстановкою в межах міста Хмельницького проводився за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА». Дослідження в сфері радіоекології виконувалися відповідно до типових методичних рекомендацій, розроблених колективом авторів Національної академії наук і Міністерства охорони здоров'я України [39].

Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА», яким проводились заміри по місту, призначений для вимірювання амбієнтного еквівалента дози (ЕД) та потужності амбієнтного еквівалента дози (МЕД) від гамма- та рентгенівського випромінювання, а також поверхневої щільності потоку частинок бета-випромінювання [39].

Дозиметр має плоский прямокутний корпус з закругленими кутами, в якому розташований детектор гамма- і бета-випромінювань. Детектор, заснований на лічильнику Гейгера-Мюллера СБМ-20-1, перетворює випромінювання на послідовність імпульсів напруги, кількість яких в одиницю часу пропорційна інтенсивності випромінювання. Діапазон вимірювань потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання становить від 0,1

мкЗв/год до 9999 мкЗв/год, а робочі температури – від мінус 25 °С до плюс 55 °С [39-40].

Дозиметр застосовується для проведення екологічних досліджень, служить наочною допомогою в навчальних закладах, використовується для дозиметричного та радіометричного контролю на промислових підприємствах. Також використовується для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, прилеглої до них території, для перевірки радіаційної безпеки предметів побуту, одягу, поверхні ґрунту на присадибних ділянках і транспортних засобах [40].

У кожній точці дослідження проводили вимірювання середньої потужності гамма-випромінювання, здійснюючи по 5 вимірів та обчислюючи їх середнє значення. Час вимірювань коливався від 15 хв. до 20 хв. Радіометричні проміри проводились на двох висотах: на рівні ґрунтового або техногенного покриву та на висоті від 1,2 м до 1,5 м вище площадки. Це було зроблено для вивчення впливу відстані від земної поверхні, яка є основним джерелом техногенної радіації в урбоєкосистемах, на рівень забруднення радіонуклідами. Дослідження проводились за сонячної та безвітряної погоди з метою мінімізації впливу метеоумов на результати вимірювань [25].

Дослідження проводила вздовж автошляхів і охоплювали різні частини міста. Отримані результати вимірювань були оброблені та піддані аналізу для отримання середньостатистичних даних [25].

В результаті аналізу досліджень за допомогою методу лінійної інтерполяції в програмі була розроблена карта забруднення, яка використовується у географічній інформаційній системі (див. рисунок 3.3). Ця карта надає візуальну репрезентацію рівнів забруднення на досліджуваній території, що дозволяє ефективно відстежувати та аналізувати розподіл забруднюючих речовин.

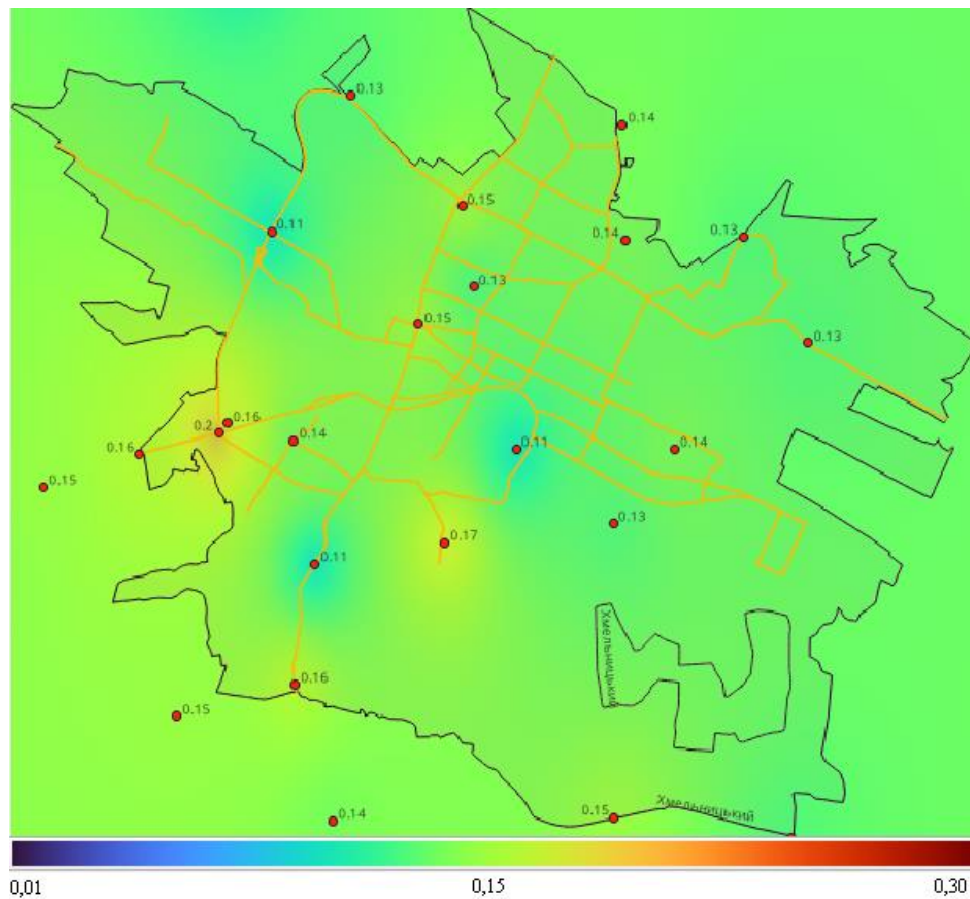


Рисунок 3.3 – Карта радіаційного забруднення міста Хмельницького (мкЗв/год)

Аналіз карти визначає розподіл рівнів забруднення на досліджуваній території. Цей аналіз дозволяє виявити та визначити області з підвищеними чи зменшеними концентраціями забруднюючих речовин. Визначення паттернів та особливостей на карті може надати важливу інформацію для подальших дій щодо мінімізації забруднення та вжиття необхідних заходів для охорони довкілля та здоров'я населення.

Середні значення потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання варіюються в межах від 0,14 мкЗв/год до 15 мкЗв/год. Максимальний фоновий рівень, який зафіксований на південному заході міста, становить 0,2 мкЗв/год, що не перевищує допустимий стандартний показник у 0,3 мкЗв/год. Найнижчі значення потужності еквівалентної дози складають 0,11 мкЗв/год.

На рівень радіаційного фону можуть впливати різні чинники. У містах найчастіше випромінюють радіацію гранітні покриття доріг, оскільки граніт складається з різних мінералів і може включати радіоактивні елементи, такі як уран, торій та калій-40. Ці радіоактивні елементи можуть випромінювати радіацію у вигляді гамма-випромінювання, альфа-частинок і бета-частинок. Випромінювання від граніту визначається його геологічним складом і може варіюватися в залежності від конкретного типу граніту та його місця походження. Однак, ці рівні випромінювання взагалі є невеликими і не завдають значущого впливу на здоров'я людей при нормальних умовах [39-40].

### **3.4 Токсичний вплив важких металів на довкілля**

Серед численних забруднювачів навколишнього середовища важливе місце приділяється важким металам. Термін «важкі метали» вказує на метали з щільністю понад  $6 \text{ г/см}^3$  та відносною атомною масою понад 50 атомних одиниць маси. Більшість з цих металів є токсичними, такими як цинк, кадмій, ртуть, хром, свинець та інші [41].

У відповідності до Харчового кодексу, розробленого комісією ФАО та ВООЗ, найбільш небезпечними є Меркурій, Кадмій і Свинець. Ці хімічні елементи мають виражені токсикологічні властивості, навіть при низьких концентраціях, що робить їх особливо шкідливими [42].

Важкі метали потрапляють в навколишнє середовище з різних джерел, які можна розділити на природні (вивітрювання гірських порід і мінералів, ерозійні процеси, вулканічна активність) і техногенні (видобуток та обробка корисних копалин, згоряння палива, рух транспорту, сільське господарство) [43].

Найактивнішими джерелами викидів цих металів в навколишнє середовище є підприємства металургійної та хімічної промисловості, процеси згорання твердого і рідкого палива, використання пестицидів та утилізація промислових відходів [44].

Існує обмежена кількість інформації про корисні властивості кадмію та свинцю, оскільки, в основному, вони розглядаються з точки зору своєї токсичності. Проте важливо зауважити, що ці елементи природно містяться в тканинах організму як нормальна їх складова [44-45].

Механізм токсичної дії кадмію та свинцю в основному включає в себе:

- зниження активності ферментів;
- утворення хелатів та порушення обміну речовин;
- взаємодія з клітинними мембранами і зміна їх проникності;
- конкуренцію з хімічними елементами, які є життєво важливими

для організму [42-43].

Встановлено, що основним джерелом, від якого в організм людини потрапляє до 70 % важких металів, є харчові продукти. Неконтрольоване забруднення їжі може призвести до серйозних наслідків для організму. Токсини, які потрапляють в організм будь-яким шляхом, можуть викликати отруєння, яке буває гострим або хронічним. Ступінь отруєння залежить від токсичності речовини, її кількості, тривалості впливу, шляху проникнення, погодних умов та індивідуальних особливостей організму [44].

Гострі отруєння виникають внаслідок одноразового впливу великих доз шкідливих речовин. Хронічні отруєння виникають при тривалому впливі на організм невеликих концентрацій токсичних речовин [45].

Кадмій відомий своєю тератогенною, мутагенною та канцерогенною дією. Цей токсин блокує активність важливих ферментів, необхідних для життєдіяльності організму. Крім того, він призводить до ушкодження печінки, нирок, підшлункової залози та може спричинити емфізему чи розвиток раку легень. Сполуки кадмію знижують стійкість організму до захворювань. Як мутаген, кадмій негативно впливає на генетичний матеріал,

сприяє руйнуванню еритроцитів крові та може спричинити захворювання нирок, сім'яних залоз, гастрит та анемію [41-43].

Токсичний вплив свинцю не обмежується лише впливом на репродуктивні функції; це є високотоксична речовина, яка пошкоджує різні системи організму, включаючи кровотворну, нервову, травну, сечовидільну, серцево-судинну та ендокринну. Свинець спричиняє порушення багатьох обмінних процесів та впливає на біосинтез гемоглобіну, нуклеїнових кислот, протеїнів і різних гормонів. Приблизно від 90 % до 95 % накопиченого свинцю у людському організмі «депонується» в кістках, що створює значний ризик хронічної інтоксикації. Одним із характерних клінічних проявів токсичного впливу є анемія, яка виникає внаслідок порушення обміну порфірину та біосинтезу гема, що призводить до прискореного руйнування гемоглобіну та зменшення його кількості в крові [41-43].

Накопичення важких металів у ґрунті призводить до зниження рівня рН та руйнує структуру ґрунтово-вбирного комплексу. Високий рівень токсичних елементів цієї групи широко поширений у всіх міських ґрунтах на сучасному етапі. Акумуляція та поглиблене засмічення важкими металами рослинами залежить від численних факторів, таких як тип ґрунту, його фізичні та фізико-хімічні характеристики, вміст органічних речовин, окислювально-відновних процесів, температурних режимів, рослинного покриву і багато інших [43].

Важкі метали природно містяться у ґрунті як домішки, але збільшення їх концентрацій є результатом впливу людської діяльності та інтенсивного розвитку промисловості. Найчастіше ґрунти стають забрудненими металевими сполуками та органічними речовинами, олівами, дьогтями, пестицидами, вибуховими та токсичними речовинами, радіоактивними матеріалами, біологічно активними горючими речовинами, азбестом та іншими шкідливими продуктами. Ці сполуки найчастіше походять з промислових або побутових відходів, знаходяться у визначених місцях захоронення чи на несанкціонованих смітниках. Забруднення ґрунту

важкими металами, такими як ртуть, кадмій, свинець, хром, мідь, цинк і миш'як (арсен), є достатньо небезпечним явищем [43].

### **3.5 Визначення забруднення ґрунтів м. Хмельницького вільними сполуками кадмію та свинцю**

Едафічне середовище займає найбільш вагоме місце у розвитку і рості рослин. Незважаючи на високу стійкість ґрунту, тобто його здатність тривалий час не змінювати свої властивості під впливом забруднювачів, у міських областях це стає однією з найбільш забруднених складових навколишнього середовища. Протягом останнього століття, порівняно з природними територіями, ключовим фактором формування ґрунту став антропогенний вплив. Ґрунти у міських екосистемах вирізняються нерівномірним профілем, високим ступенем ущільнення, змінами реакції ґрунтового розчину в лужне середовище та забрудненням різними токсичними речовинами [46].

Зразки ґрунту відбирають та аналізують переважно з метою визначення взаємопов'язаних фізичних, біологічних та радіологічних параметрів. Збір проб передбачає максимально точне відтворення властивостей об'єкта, який буде характеризуватися. З цією метою робиться все можливе, щоб проби не зазнали жодних змін між моментом їх відбору та проведенням аналізу. Зазвичай використовують порушені зразки, тобто такі, де зв'язок між частинками ґрунту слабший і вони можуть розділятися під час відбору проб [47-48].

Вибір методики відбору проб залежить від необхідної точності результатів, яка, в свою чергу, залежить від діапазонів концентрацій компонентів, процедур відбору проб та типу аналізу. Обладнання для відбору проб слід обирати уважно, враховуючи різноманітні матеріали, які можуть

бути присутні у ґрунті, і обрані методи аналізу. Дотримання обережності є важливим для запобігання взаємному забрудненню, втрати летючих сполук, зміни складу під впливом повітря та інших змін, які можуть відбутися між відбором та дослідженням проб [47-48].

Відбір проб ґрунту проводиться згідно рекомендацій, що описані у нормативних документах:

- ДСТУ ISO 10381-2:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб»(ISO 10381-2:2003, IDT);
- ДСТУ ISO 10381-4:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 4. Настанови щодо процедури дослідження природних, майже природних та оброблюваних ділянок»(ISO 10381-4:2003, IDT).

Будь-яка методика відбирання проб ґрунту зазвичай включає два основних етапи:

- отримання доступу до місця відбору проб (зняття покриття чи ущільнення, викопування або буріння свердловиною для досягнення потрібної глибини взяття проб;
- забір проби ґрунту [47-48].

Обидва кроки залежать один від одного, і кожного разу треба дотримуватися вимог принципів відбирання проб.

Вибір методики взяття проб, обрання необхідного обладнання та методу взяття ґрунтових проб залежать від мети, глибини шару, з якого буде проведено відбір, характеру можливого забруднення та виду дослідження чи аналізу, який буде здійснений на зібраних пробах [47-48].

Глибину взяття проб встановлюють враховуючи конкретні обставини та стандартні вимоги. Час та інтервали відбирання проб залежать від таких факторів:

- мети дослідження;
- призначення земельної ділянки;
- стану якості ґрунту [47].

Кількість проб визначається типом і масштабами передбачених польових та лабораторних досліджень, а також потребою в об'ємній щільності. Для проведення польових та лабораторних вимірювань хімічних, біологічних, радіологічних і, в певній мірі, фізичних параметрів необхідні порушені зразки поверхневого шару ґрунту. Для цього можна використовувати такі інструменти:

- ручний бур;
- лопату або аналогічний інструмент;
- рамку для вирізання;
- інші додаткові інструменти та обладнання [48].

Після визначення відповідної стратегії взяття проб отримують або окремі зразки, або n-ну кількість розділених проб для формування комплексного зразка на одиницю площі чи ґрунту. Глибина взяття проб визначається метою дослідження та призначенням використання ділянки [47].

Вміст важких металів у ґрунтах м. Хмельницький визначено методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії провідними інженерами-хіміками хіміко-токсикологічного відділу Хмельницької регіональної державної лабораторії Державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів.

Методи досліджень описано у нормативних документах:

- ДСТУ 4770.3:2007 «Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амоній-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії»;
- ДСТУ 4770.9:2007 «Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амоній-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії».

Для підготовки ґрунту до аналізу, зразок масою 200 г розсипають на кальці та розминають великі грудки, використовуючи товкач. Потім відбирають включення, такі як корені рослин, камені, скло, вугілля, кістки

тварин, а також новоутворення, наприклад, гіпсові друзи чи вапняні журавлики. Ґрунт подрібнюють у ступці за допомогою товкача та просівають через поліетиленове сито з отворами діаметром 1 мм [49-50].

Для приготування буферного розчину амонію-ацетату з рН 4,8 застосовують наступну процедуру: в мірну колбу об'ємом 1 дм<sup>3</sup> вимірюють 77 г оцтовокислого амонію і додають 50 см<sup>3</sup> оцтової кислоти, після чого доливають дистильованою водою до позначки та перемішують. Отриманий розчин зберігають у поліетиленовому посуді протягом одного року [49-50].

Для створення градувальних розчинів іонів кадмію використовується стандартний зразок розчину іонів кадмію з масовою концентрацією 1 мг/см<sup>3</sup> [49].

Для градувальних розчинів іонів свинцю використовується стандартний зразок розчину свинцю з масовою концентрацією 1 мг/см<sup>3</sup> [50].

Крім того, готуються ще два стандартні розчини – запасний і робочий – з масовою концентрацією іонів кожного металу на рівні 0,1 мг/см<sup>3</sup> та 0,01 мг/см<sup>3</sup> відповідно [49-50].

Стандартні робочі параметри атомно-абсорбційного спектрофотометра під час визначення кадмію такі:

- довжина хвилі – 228,8 нм;
- ширина віконця – 0,1 нм [49].

Стандартні робочі параметри під час визначення свинцю:

- довжина хвилі – 283,3 нм;
- ширина віконця – 0,1 нм [50].

Для забору проби ґрунту використовують подвійне зважування по 10 г на лабораторних вагах. Отримані наважки поміщають у поліетиленові колби об'ємом 150 см<sup>3</sup> і заливають 50 см<sup>3</sup> амонійно-ацетатного буферного розчину з рН 4,8. Зразки ретельно перемішують на ротаторі протягом години, після чого вони профільтовуються через складчастий фільтр у поліетиленові колби за допомогою поліетиленових лійок. Паралельно готується контрольна

проба, включаючи всі етапи підготовки зразка, за винятком зважування проби [49-50].

Визначають абсорбцію для зразків витяжки та холостої проби, обчислюють різницю між ними. Результатом вимірювань абсорбції є середнє арифметичне результатів двох паралельних вимірювань у трьох повтореннях. Значення масової концентрації важкого металу в розчині визначається шляхом використання градуовальної кривої [49-50].

Масову концентрацію важкого металу, що визначається, у пробах с, у міліграмах на кілограм, розраховують за формулою (3.1):

$$c = C_{\text{гр}} \frac{V \times 1000}{1000 \times m} \quad (3.1)$$

де  $C_{\text{гр}}$  – масова концентрація важкого металу, що визначається, у витяжці, отримана за градуовальною кривою, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм амоній-ацетатного буферного розчину для готування проби, см<sup>3</sup>;

1000 – коефіцієнт перерахунку г у кг;

1000 – коефіцієнт перерахунку см<sup>3</sup> у дм<sup>3</sup>;

$m$  – маса наважки ґрунту, г [49-50].

Дослідження проводилися на атомно-абсорбційному спектрометрі С115М1-ПК. Спектрофотометр такого типу призначений для визначення концентрації хімічних елементів в рідких пробах різного походження в умовах хіміко-аналітичних лабораторій, дослідних закладів і промислових підприємств. Метод атомно-абсорбційного аналізу заснований на явищі поглинання світла вільними атомами хімічного елемента. В атомно-абсорбційному аналізі використовуються переходи атомів з основного не збудженого рівня на більш високі збуджені рівні. Ці переходи називають резонансними, а випромінювання з відповідною довжиною хвилі резонансними [49].

Рідка проба за допомогою вогняного атомізатора переводиться в стан атомного пару. Шар атомного пару просвічується світлом від джерела з лінійним спектром випромінювання, що випромінює ряд вузьких спектральних ліній, в тому числі і з резонансною довжиною хвиль елемента, що визначається. Монохроматор виділяє із всього випромінювання тільки випромінювання з резонансною довжиною хвилі, яка і потрапляє на фотоприймач. Отримуваний електричний сигнал підсилюється підсилювачем і опрацьовується системою реєстрації [50].

Результати проведених лабораторних досліджень наведені у таблиці (таблиця 3.2). Гранично допустимі концентрації металів:

– допустима концентрація свинцю 6 мг/кг з урахування фону (дані з нормативного документу «Гігієнічні регламенти вмісту хімічних речовин у ґрунтах», який затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 р, № 1595 );

– концентрація кадмію для супіщаних ґрунтів – 0,5 мг/кг з урахуванням фону (дані з Методики агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, 2003 р) [51-52].

Таблиця 3.2 – Визначення рухомих форм важких металів у ґрунтах м. Хмельницького

№	Свинець (Pb), мг/кг	Кадмій (Cd), мг/кг
	ГДК = 6	ГДК = 0,5
1	3,1373	0,24019
2	2,37167	0,33409
3	4,99798	0,49747
4	1,45291	0,20509
5	0,65489	0,93943
6	1,60830	0,42296
7	3,41125	0,36685

8	0,93817	0,17041
9	0,92588	0,44399

Через те що ґрунти часто містять кілька забруднюючих елементів, для їхньої оцінки використовується сумарний показник забрудненості ( $Z_c$ ), який відображає загальний вплив всієї групи елементів. Оскільки під час виконання роботи досліджувався вміст двох токсичних елементів (кадмію та свинцю) у ґрунтах, то можемо розрахувати цей показник для них [53].

Оцінку загального забруднення ґрунтів важкими металами розраховано за допомогою формули (3.2) , яка враховує фактичний вміст конкретного хімічного елемента у ґрунті та максимально допустиму концентрацію цієї забруднюючої речовини:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{ci}) - (n - 1), \quad (3.2)$$

де:  $Z_c$  – сумарний показник забрудненості ґрунтів;

$K_{ci}$  – коефіцієнт концентрації  $i$ -того хімічного елемента у пробі ґрунту;

$n$  – кількість врахованих хімічних елементів.

Коефіцієнт концентрації визначали за формулою (3.3):

$$K_{ci} = C/\text{ГДК}, \quad (3.3)$$

де:  $C$  – реальний вміст визначеного хімічного елемента в ґрунті, мг/кг;

ГДК – гранично допустима концентрація забрудненої речовини, мг/кг [53].

Формулу згадує О.І. Фудичко у навчальному посібнику «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище» у 2008 році. Після того її висвітлювали у підручниках та методичних рекомендаціях різних авторів. Методикою також використовували у своїх дослідженнях Пилипенко Ю.В., доктор сільськогосподарських наук, професор

Херсонського державного аграрного університету, та Шепелюк М.О., кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, тощо.

Результати проведених розрахунків відображено у таблиці (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку сумарного показника забруднення

№	Коефіцієнти концентрації, $K_c$		Сумарний показник забруднення, $Z_c$
	Свинець	Кадмій	
1	0,52	0,48	0,002
2	0,40	0,67	0,06
3	0,83	1	0,83
4	0,24	0,41	0
5	0,11	1,89	1
6	0,27	0,85	0,11
7	0,57	0,74	0,3
8	0,16	0,34	0
9	0,15	0,89	0,04

Оцінка ризику забруднення ґрунтів хімічними елементами за сумарним показником виконується через використання оціночної шкали, яка базується на дослідженні впливу забруднення на стан здоров'я мешканців різних територій із різними рівнями забруднення ґрунтів (таблиця 3.4) [53].

Таблиця 3.4 – Оціночна шкала рівня забруднення ґрунтів

Значення сумарного показника ( $Z_c$ )	Рівень забруднення	Зміна показників якості здоров'я мешканців у зонах забруднення ґрунтів
1	2	3
0-8	сприятливий	Найнижчий рівень захворюваності

9-16	задовільний	дітей та мінімум функціональних відхилень у дорослого населення
17-32	помірно-небезпечний	Підвищення загального рівня захворюваності

Кінець таблиці 3.4

1	2	3
33-128	надзвичайно небезпечний	Підвищення загального рівня захворюваності, кількості дітей, які часто хворіють, дітей з хронічними захворюваннями, порушення функціонування серцево-судинної системи
>128	дуже небезпечний	Підвищення захворюваності дітей, порушення репродуктивної функції у жінок (збільшення випадків токсикозу при вагітності, передчасних пологів, мертвонароджених, гіпотрофій немовлят)

Проведені розрахунки і порівняння свідчать про те, що рівень забруднення ґрунтів важкими металами, такими як кадмій і свинець, у місті Хмельницькому сприятливий. Це означає, що такі концентрації абсолютно не впливають на стан здоров'я дорослих та дітей, що проживають на цій території. Проте для більш точних та конкретних висновків потрібно проводити дослідження на визначення вмісту інших металів, що входять до цієї групи елементів.

На основі результатів досліджень за допомогою програмного забезпечення QGIS були розроблені карти забруднення. Отримані дані ілюструють рівні забруднення на об'єкті дослідження, розкриваючи варіації концентрацій забруднюючих елементів у різних областях. Цей інструмент виявляється вельми корисним для систематичного моніторингу та подальшого аналізу динаміки забруднення на вивченій території.

Після аналізу карти забруднень ґрунтів міста свинцем було виявлено, що на окраїнах міста концентрація забруднювача низька, а в центрі показники вищі (див. рисунок 3.4). Це може бути пов'язано з декількома чинниками. Важливо враховувати, що це лише загальні припущення, і без додаткової інформації важко точно визначити причини.

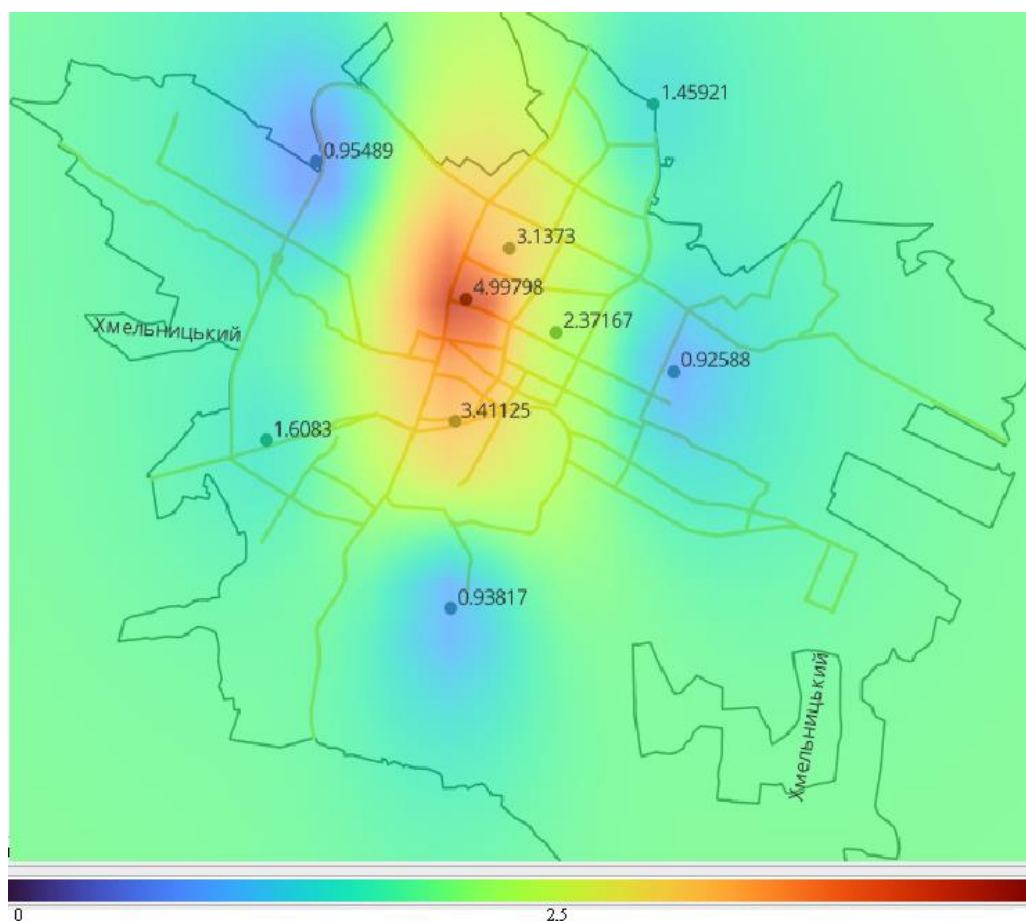


Рисунок 3.4 – Карта забруднення ґрунтів міста Хмельницького свинцем (мг/кг)

У центрі міста зазвичай більше доріг та транспортних засобів, що може вести до вищого рівня забруднення атмосфери. Транспортні викиди, такі як вихлопні гази від автомобілів, призводять до підвищення рівня свинцю. На розподіл забруднюючих речовин може також впливати топографія міста. Наприклад, області з низьким рівнем вентиляції можуть накопичувати забруднення. Для отримання точної інформації щодо причин важливо

провести більшу кількість дослідження та моніторинг якості довкілля у конкретному місці [41-43].

Як видно на другій карті (див. рисунок 3.5), підвищену концентрацію кадмію було виявлено у зоні близькій до полігону твердих побутових відходів. Проба відбиралась у найнижчій точці біля річки Південний Буг. Швидше за все це свідчить про просочування фільтрату з токсичним кадмієм та іншими шкідливими речовинами із сміттєзвалища.

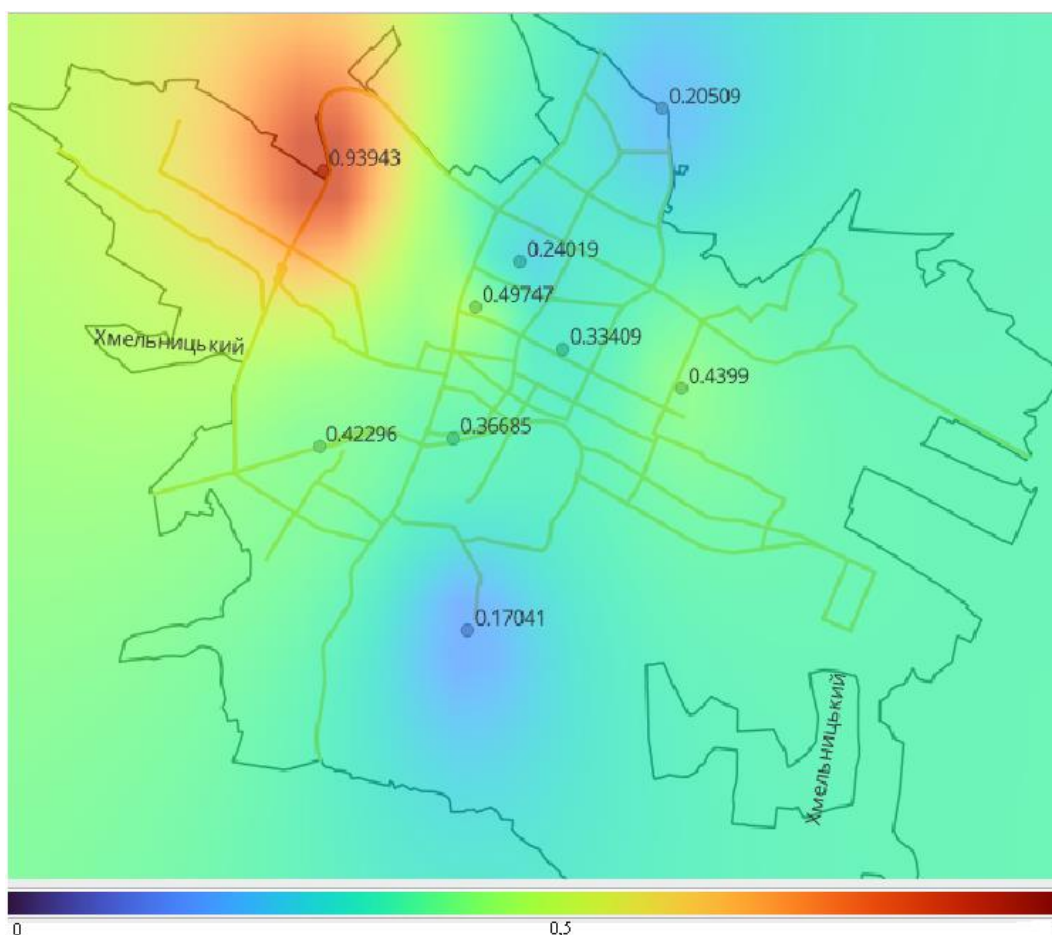


Рисунок 3.5 – Карта забруднення ґрунтів міста Хмельницького кадмієм (мг/кг)

Кадмій знаходиться у нікеле-кадмієвих акумуляторах і батареях, які використовуються у різних пристроях, від портативних електронних до електричних автомобілів. Кадмієві акумулятори відзначаються високою ефективністю і довгою службою.

Часто цей елемент входить до складу багатьох легкоплавких сплавів, які застосовуються як припої в електроніці та інших галузях. Ці сплави мають низьку температуру плавлення, що робить їх ефективними для приєднання компонентів з різними температурними властивостями.

Метал також використовувався для виробництва барвників, які додавалися до фарб та покриттів та як стабілізатор у виробництві пластмас, зокрема поліхлорвінілу (ПВХ). Проте через токсичність, його використання зменшилося, і замінили його менш шкідливими альтернативами [41-43].

Управління забрудненими кадмієм ґрунтами вимагає системного підходу для зменшення негативного впливу на оточуюче середовище та здоров'я людей. Перш за все, необхідно провести детальний аналіз рівня забруднення ґрунту кадмієм для точного визначення ризиків та ідентифікації найбільш забруднених областей.

Для запобігання можливому контакту людей та тварин із забрудненим ґрунтом важливо встановити обмеження доступу до забруднених ділянок. Регулярне тестування водопостачання стане ефективним інструментом виявлення кадмію, який може потрапляти в воду через забруднені ґрунти.

Використання фітотехнологій, зокрема фітоекстракції та фітомеліорації, може сприяти зменшенню концентрації кадмію в ґрунті за допомогою рослин, які накопичують цей метал. Важливо також забезпечити ефективне інформування громади щодо потенційних ризиків та заходів, які приймаються для управління забрудненням.

Співпраця з органами влади є ключовою у вирішенні проблеми. Важливо впроваджувати рекомендації відповідно до місцевих законодавчих та регуляторних вимог. Регулярне дослідження та моніторинг рівнів кадмію в ґрунті та воді є важливим для вчасного виявлення змін та вжиття необхідних заходів для подолання забруднення.

## ВИСНОВКИ

Забезпечення стабільного розвитку та процвітання України обумовлено ефективним використанням природних ресурсів та збереженням екологічної рівноваги. Захист навколишнього середовища та можливість гарантувати екологічну безпеку є критичними аспектами, спрямованими на довгостроковий розвиток та комфорт для кожного громадянина.

З метою підвищення ефективності роботи у сфері природоохоронної діяльності нині активно впроваджуються нові технології на рівнях від муніципального до державного управління. Розробка геоінформаційних систем для будь-якого міста націлена на систематизацію даних про природні об'єкти та ресурси, контроль антропогенного впливу і рівня навантаження на території, аналізу характеру забруднення та стану природного середовища, а також спрощує розробку планів та стратегій відновлення і збереження природних ресурсів.

Хмельницький – це місто, що розвивається і місцева влада готова впроваджувати новітні тенденції для покращення якості життя населення. Важливу роль для благополуччя громадян відіграє збереження та раціонального використання різноманітних природних об'єктів, які, крім того, вимагають уважного та турботливого ставлення.

Місто, як екосистема, представляє собою комплекс живих організмів (за винятком людини), таких як рослини, тварини і мікроорганізми, а також оточуюче середовище, де вони існують. Взаємодія цих компонентів між собою та з іншими елементами породжує різноманітні процеси в екосистемі. Під час роботи над геоінформаційною системою природних ресурсів міста Хмельницького нашу увагу привернув стан водних об'єктів та зелених насаджень.

Водні ресурси міста включають три річки: річку Південний Буг, річку Кудрянку (відому також як під назвою Самець) і річку Плоску (праву

притоку Південного Бугу). Крім того на території міста розміщується п'ять великих ставків: Бузький і Бузьке водосховище, Ружичнянський, Дубівський і Дубівське водосховище. Про них немає жодної доступної інформації.

Більшість зелених насаджень у межах міста Хмельницького є штучними, і лише на периферійних територіях та вздовж річкових заплавл можна виявити залишки природної рослинності. Загалом, рослинний покрив міста Хмельницького відзначається значною фрагментацією, де окремі ділянки розділені тротуарами, автомобільними та залізничними шляхами, а також будівлями і т.д.

Відкритим є також питання природно-заповідного фонду міста Хмельницького, відсоткове співвідношення якого до загальної площі складає всього 2 %. Фонд міста включає в себе 23 території та об'єкти природного значення на місцевому рівні. Здебільшого представлений ботанічними пам'ятками природи.

На тридцять четвертій сесії Хмельницької міської ради, що відбулася 9 жовтня 2019 року, було затверджено Схему екологічної мережі для міста Хмельницького. Покриття мережі становить 1234,83 га, а загальна протяжність екокоридорів складає 59,16 км. Структуру формують природні ядра та екокоридори на рівнях національного, регіонального і місцевого значення, а також відновлювальні та буферні території.

Моніторинг стану природного середовища у місті забезпечує систематичний збір об'єктивних даних щодо якості повітря, води та ґрунту. Цей процес дозволяє визначити джерела забруднення, такі як промислові підприємства, транспортні системи та муніципальні сміттєзвалища. Також він допомагає виявляти області з найвищими рівнями забруднення, що є важливим для прийняття ефективних заходів з охорони довкілля.

Геоінформаційні системи автоматизують процеси аналізу та прогнозування, спрощуючи створення моделей різних явищ. Вони представляють ефективну альтернативу класичним методам картографічного моделювання. Сучасні автоматизовані системи та технології для управління

та планування територій населених пунктів використовують цифрову картографію та спеціальне програмне забезпечення для створення та використання цифрових візуалізацій та обробки даних.

Використання візуалізації сприяє створенню основи для раціонального використання природних ресурсів, зменшення екологічного впливу та формування сталого розвитку міст. Це досягається завдяки збору точних та актуальних даних, їх аналізу та обдуманому прийняттю рішень, сприяючи підвищенню екологічної свідомості та забезпеченню збалансованого розвитку.

Карта природних ресурсів міста Хмельницького, що являє собою геоінформаційну систему, складається з 19 шарів. Оцифровано велику кількість об'єктів (до 187 одиниць) таких як: території природно-заповідного фонду, річки з притоками, ставки, водосховища, зелені насадження, болота та ін.

Геоінформаційна система природних ресурсів міста Хмельницького дозволить користувачам отримувати доступ до певної інформації, яка вже внесена у базу. Наприклад, з системи можна отримати дані про площу, категорію та рік заповідання об'єктів ПЗФ або про витік, гирло, довжину, кількість приток тощо для річок, що протікають на території міста.

За результатами інструментальних та лабораторних досліджень методом лінійної інтерполяції у програмі QGIS були створені карти забруднень. Вивчення і аналіз таких карт дозволяє визначати розподіл рівнів забруднення на досліджуваній території. Отримані дані надають можливість ідентифікувати та визначати області з підвищеними чи зменшеними концентраціями забруднюючих речовин. Такий підхід сприяє більш ефективному виявленню та управлінню зонами з високими рівнями забруднення, сприяючи покращенню екологічної ситуації на досліджуваній території.

Загалом у роботі розглянуті ключові аспекти екологічного стану та природоохоронних заходів у місті Хмельницькому. Зазначено важливість

ефективного використання природних ресурсів та збереження екологічної рівноваги для забезпечення стабільного розвитку та процвітання громади.

Також описано впровадження новітніх технологій, таких як геоінформаційні системи, для моніторингу та управління природними ресурсами. Надано конкретний приклад застосування геоінформаційної системи для аналізу забруднення та створення карт забруднення, що дозволяє ідентифікувати джерела забруднення та приймати ефективні заходи для покращення екологічної ситуації.

У висновку важливо підкреслити, що забезпечення сталого розвитку та процвітання міста Хмельницького нерозривно пов'язане з раціональним використанням природних ресурсів та збереженням екологічної рівноваги. Сучасне впровадження новітніх технологій на різних рівнях управління в місті свідчить про прагнення до покращення природоохоронної діяльності.

На прикладі міста Хмельницького видно, як геоінформаційні системи можуть слугувати інструментом для аналізу забруднення та створення карт, що дозволяють точно ідентифікувати джерела забруднення. Розглянуті ключові аспекти екологічного стану та заходів у сфері природоохоронної діяльності міста Хмельницького свідчать про необхідність та важливість використання сучасних методів та технологій.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Про основні напрямки державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки [Електронний ресурс] : закон (№ 188/98-ВР) : [прийнято Верхов. Радою 05.03.1998] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 12.10.2023).
2. Про національну інфраструктуру геопросторових даних [Електронний ресурс] : закон (№ 554-ІХ) : [прийнято Верхов. Радою 13.04.2020] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20/ed20230301#Text> (дата звернення: 12.10.2023).
3. Про Національну програму інформатизації [Електронний ресурс] : закон (№ 2807-ІХ) : [прийнято Верхов. Радою 01.12.2022] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-20#Text> (дата звернення: 12.10.2023).
4. Про затвердження завдань Національної програми інформатизації на 2022 – 2024 роки [Електронний ресурс] : закон (№ 2360-ІХ) : [прийнято Верхов. Радою 08.07.2022] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2360-IX#Text> (дата звернення: 12.10.2023)
5. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля [Електронний ресурс] : закон (№ 2973-ІХ) : [прийнято Верхов. Радою 20.03.2023] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2973-20#Text> (дата звернення: 12.10.2023).

6. Програма державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації «Хмельницький» на 2022 – 2026 роки. Додаток до рішення виконавчого комітету від 08.04.2022 року № 208 [Електронний ресурс] : нормативний документ / офіційне інтернет-представництво Хмельницької обласної військової адміністрації. – Режим доступу: [https://www.adm-km.gov.ua/?page\\_id=118426](https://www.adm-km.gov.ua/?page_id=118426) (дата звернення: 06.10.2023).

7. Екологічний паспорт Хмельницької обл. [Електронний ресурс] : нормативний документ / офіційне інтернет-представництво Хмельницької обласної військової адміністрації. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/32146.html> (дата звернення: 06.10.2023).

8. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проєкту документа державного планування «Програма економічного і соціального розвитку Хмельницької міської територіальної громади на 2022 рік» [Електронний ресурс] : нормативний документ / офіційне інтернет-представництво Хмельницької міської ради. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/32146.html> (дата зверненн: 06.10.2023).

9. Казімірова Л. П. Природно-заповідний фонд та екологічна мережа міста Хмельницького та їх роль у збереженні біотичного і ландшафтного різноманіття [Електронний ресурс] / Л. П. Казімірова, Н. Г. Міронова, О. П. Матеюк, С. В. Ільїнський // Наукові доповіді НУБіП України. – Київ : НУБіП України, 2022. – Вип. № 4 (98). – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/dopovidi2022.04.004> (дата звернення: 06.10.2023).

10. Рішення обласної ради від 28.06.2023 № 22-16/2023 [Електронний ресурс] : нормативний документ / офіційне інтернет-представництво Хмельницької обласної ради. – Режим доступу: <https://km-oblrada.gov.ua/16-cherгова-sesiya-oblasnoyi-rady-28-cherвnua-2023-roku/> (дата звернення: 06.10.2023).

11. Схема екологічної мережі міста Хмельницького. Додаток до рішення сесії міської ради від 09.10.2019 р № 37 [Електронний ресурс] : нормативний документ / офіційне інтернет-представництво Хмельницької міської ради. – Режим доступу: <https://www.khm.gov.ua/uk/content/pro-zatverdzhennya-shemy-ekologichnoyi-merezhi-mista-hmelnyckogo-0> (дата звернення: 06.10.2023).

12. Подліпаєв В. О. Базовий набір типових геоінформаційних ресурсів для здійснення геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу [Електронний ресурс] / В. О. Подліпаєв // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Вип. 2(54). – Режим доступу: [doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.012](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.012) (дата звернення: 25.10.2023).

13. Crooks A. Fundamentals of Geographical Information Systems: 2022 [Elektronik resource] / Crooks A., Malleson N., Manley E., Heppenstall A. // SAGE Publications. – 2022. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/62fb9634-ca01-3c43-bb86-2010135893bd/> (last access: 25.10.2023).

14. Westerveld L. Loosening the grid: topology as the basis for a more inclusive GIS: 2021 [Elektronik resource] / Westerveld L., Knowles A. // International Journal of Geographical Information Science. – 2021. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/faedf187-c104-31b1-abd0-c8d22ed1c1eb/> (last access: 25.10.2023).

15. Yuan M. GIS research to address tensions in geography: 2021 [Elektronik resource] / Yuan M. // Singapore Journal of Tropical Geography. – 2021. – Vol. 42 (1). – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/a1a28152-1f38-3369-963c-733dd613bf65/> (last access: 25.10.2023).

16. Wang J. Cartography: its past, present and future: 2022 [Elektronik resource] / Wang J., Wu F., Yan H. // Acta Geodaetica et Cartographica Sinica. – 2022. – Vol. 51 (6) – Access mode:

<https://www.mendeley.com/catalogue/7cdfc988-4154-39a4-9467-5ed214dab56b/>  
(last access: 25.10.2023).

17. Бондаренко Е. Л. ГІС у задачах моніторингу навколишнього середовища [Електронний ресурс] / Е. Л. Бондаренко, О. Ю. Яценко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2020. – Вип. ½ (76/77). – Режим доступу: <https://visnyk-geo.knu.ua/wp-content/uploads/2020/12/> (дата звернення: 25.10.2023).

18. Волков А. І. Перспективи використання систем підтримки прийняття рішень щодо оцінки та контролю рівня техногенного навантаження на довкілля [Електронний ресурс] / А. І. Волков // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, 2019. – Вип. № 20. – Режим доступу: [http://journals.uran.ua/visnukkhnu\\_ecology/article/view/185733](http://journals.uran.ua/visnukkhnu_ecology/article/view/185733) (дата звернення: 25.10.2023).

19. Дудінова О. Б. Інтелектуальна обробка просторових даних в ГІС ландшафтно-екологічного моніторингу [Електронний ресурс] / О. Б. Дудінова, С. Г. Удовенко, Л. Е. Чала // Біоніка інтелекту: науково-технічний журнал. – 2020. – Вип. № 2 (95). – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/18436> (дата звернення: 25.10.2023).

20. Mashele S. GIS investigation of the fire history of Jonkershoek Nature Reserve: 2022 [Electronic resource] / Mashele S., Singh K. // South African Journal of Geomatics. – 2022. – Vol. 11 (2). – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/2550cad0-4e13-34dc-9920-0bc85431bbdf/>  
(last access: 25.10.2023).

21. Тихомирова Т. С. Перспективи використання ГІС-технологій для оцінки стану зелених насаджень урбанізованих територій [Електронний ресурс] / Т. С. Тихомирова, В. Ю. Стаднік // Науковий вісник Національного

технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія : Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я.– 2022. – Режим доступу: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=pl&user=J0125\\_YAAAAAJ&citation\\_for\\_view=J0125\\_YAAAAAJ:\\_kc\\_bZDykSQC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pl&user=J0125_YAAAAAJ&citation_for_view=J0125_YAAAAAJ:_kc_bZDykSQC) (дата звернення: 25.10.2023).

22. Пересоляк Р. В. Особливості формування ГІС для об'єднаної територіальної громади [Електронний ресурс] / Р. В. Пересоляк, А. В. Кружеля // Збірник наукових праць студентів географічного факультету. – Ужгород : ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2020. – Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/29503> (дата звернення: 25.10.2023).

23. Кашина В. М. Використання космічних знімків і засобів геоінформаційних систем для вирішення задач лісового господарства [Електронний ресурс] / В. М. Кашина, І. С. Гуд // Матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ», м. Харків, 22 квітня 2021 р. – Харків : ХНТУСГ, 2021. – Режим доступу: <https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/19756> (дата звернення: 25.10.2023).

24. Бузіна І. М. Застосування геоінформаційних технологій у дослідженні долинно-ландшафтних екосистем [Електронний ресурс] / І. М. Бузіна, І. В. Непран // Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика : зб. матеріалів наук.-практ. конф. ( 20 листопада 2020 р.). – Харків : Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, 2020. – Режим доступу: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/39231/1/31> (дата звернення: 25.10.2023).

25. Іванов Є. А. Радіаційна екологія [Електронний ресурс] : навч.-метод. посіб. / Є.А. Іванов, В. Г. Гаськевич, І. П. Ковальчук, Й. Й. Ятчишин.–

Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 217 с. – Режим доступу: [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/02/Ivanov\\_2011.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/02/Ivanov_2011.pdf)(дата звернення: 15.11.2023).

26. Павличенко А. В. Проблема радіаційного забруднення навколишнього середовища в Україні [Електронний ресурс] / А. В. Павличенко, А. О. Дронов // Матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації», м. Дніпро, 27 листопада – 03 грудня 2019 року. – Дніпро, 2019. – Том 10. – Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/155003/192-193.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 15.11.2023).

27. Козубенко Ю. Л. Радіаційне забруднення навколишнього середовища в контексті глобальних соціально-екологічних проблем XXI століття [Електронний ресурс] / Ю. Л. Козубенко // «Scientiaet Societus». – 2022. – Вип. 2. – Режим доступу: <http://ehsupir.uhsp.edu.ua/bitstream/handle/8989898989/6851/Kozubenko%20Yu.%20Radiatsiine%20zabrudnennia%20navkolyshnoho%20sere dovyscha%20v%20konteksti%20hlobalnykh%20sotsialno-ekolohichnykh%20problem%20KhKhI%20stolittia.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 15.11.2023).

28. Шляніна А. В. Небезпечні наслідки радіоактивного забруднення [Електронний ресурс] / А. В. Шляніна, В. О. Голяченко // Матеріали II Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції «У світі хімії: до 35 річниці аварії на ЧАЕС», ЖБФФК, 28 квітня 2021 р. – Житомир : Житомирський базовий фармацевтичний фаховий коледж, 2021. – Режим доступу: <https://eprints.pharm.zt.ua/id/eprint/253/> (дата звернення: 15.11.2023).

29. Адаменко Я. О. Результати досліджень радіаційного забруднення в смт. Солотвино Закарпатської області [Електронний ресурс] / Я. О. Адаменко, М. В. Штогрин, В. М. Чупа // Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Екологічно сталий розвиток урбосистем:

виклики і рішення» ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2-3 листопада 2021 р. – Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2021. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/60544/1/C%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA21-80-82.pdf> (дата звернення: 15.11.2023).

30. Єрмішев О. В. Функціонально-екологічна експертиза (ФЕЕ) Гайсинського району Вінницької області [Електронний ресурс] / О.В. Єрмішев // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія : біологія. – Тернопіль: Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, 2019. – Вип. 4 (78). – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/346255856\\_FUNKCIONALNO-EKOLOGICNA\\_EKSPERTIZA\\_FEE\\_GAJSINSKOGO\\_RAJO\\_NU\\_VINNICKOI\\_OBLASTI](https://www.researchgate.net/publication/346255856_FUNKCIONALNO-EKOLOGICNA_EKSPERTIZA_FEE_GAJSINSKOGO_RAJO_NU_VINNICKOI_OBLASTI) (дата звернення: 15.11.2023).

31. Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення [Електронний ресурс] : закон (№ v0116488-00) : [прийнято Верх. Радою 12.07.2000] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00#Text> (дата звернення: 15.11.2023).

32. Про затвердження державних санітарних правил «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» [Електронний ресурс] : закон (№ z0552-05) : [прийнято Верх. Радою 02.02.2005] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00#Text> (дата звернення: 15.11.2023).

33. Awad E. A statistical study on the nature and type of radiation pollution and its effect on the environment and human: 2020 [Elektronik resource] / Awad E., Khudheyer F., Jawad O // Annals of Tropical Medicine and Public

Health – 2020. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/dc52bf09-ac6-3152-a7b3-84eacec6eb48/> (last access: 15.11.2023).

34. Huang B. Design of Gamma Radiation Pollution Monitoring System for Mobile Objects: 2020 [Elektronik resource] / Huang B, Xu B // Nuclear Electronics and Detection Technology – 2020. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/d970b618-d451-3fbc-80b3-b68f2cf508cb/> (last access: 15.11.2023).

35. Zhang H. Research Progress with Membrane Shielding Materials for Electromagnetic / Radiation Contamination: 2023 [Elektronik resource] / Zhang H., Lin S. // Membranes – 2023. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/ea37da09-9db5-3fb9-975a-ce179f4a205b/> (last access: 15.11.2023).

36. Hameed F. The Effects of Sunlight on Particle matter & Radiation Pollution in Baghdad Airport Area: 2020 [Elektronik resource] / Hameed F., Mohammed F., Al-Obaidy A. // Engineering and Technology Journal – 2020. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/20ba86fc-a334-358f-ba07-966f233e5704/> (last access: 15.11.2023).

37. Iqbal J. Assessment of radiation pollution from nuclear power plants: 2020 [Elektronik resource] / Iqbal J., M. Howari F., Mohamed A., Paleologos E. // Elsevier – 2020. – Access mode: <https://www.mendeley.com/catalogue/8c3f439a-446b-3e91-bd6f-d63bde3256cf/> (last access: 15.11.2023).

38. Грунько Н. В. Радіаційно забруднені території Чернігівської області України: радіаційно-екологічне та медико-демографічне минуле та сучасне [Електронний ресурс] / Н. В. Грунько, О. М. Іванова, Н. В. Короткова, В. Б. Будерацька, З. Н. Бойко, С. В. Масюк, А. А. Мелекесцева // Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. – 2022. – Вип. 27. – С. 167–187. – Режим доступу: [http://radiationproblems.org.ua/27\\_2022/NRCRM\\_2022\\_10.pdf](http://radiationproblems.org.ua/27_2022/NRCRM_2022_10.pdf) (дата звернення: 15.11.2023).

39. Мовенко В. І. Моніторинг радіаційного забруднення території Чорнобильської зони [Електронний ресурс] / В. І. Мовенко // Технічні науки та технології. – 2020. – Вип. 2 (20). – Режим доступу: <http://ir.stu.cn.ua/bitstream/handle/123456789/21289/24%20%D0%9C%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf?sequence=1&isAllowed=1> у (дата звернення: 15.11.2023).

40. Сорока Ю. М. Дослідження радіаційного та пилового забруднення у місті Кам'янське для оцінки ризику здоров'я людей [Електронний ресурс] / Ю. М. Сорока, Є. В. Горб // Матеріали Х Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна», м. Дніпро, 25-26 квітня 2019 року. – Дніпро, 2019. – Том 10. – Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/155331?locale-attribute=en> (дата звернення: 15.11.2023).

41. Рибалова О. В. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів важкими металами [Електронний ресурс] / О. В. Рибалова, О. В. Бригада, О. О. Бондаренко, Є.О. Макаров // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2019. – Вип. 1 (29). – С. 79-98. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8855> (дата звернення: 15.11.2023).

42. Буцяк Г. А. Особливості екосорбції ентеросорбентом за токсичного навантаження важкими металами [Електронний ресурс] / Г. А. Буцяк, О. В. Швед, З. В. Губрій, В. І. Буцяк // Chemistry, Technology and Application of Substances. – 2020. – Вип. 3 (20). – С. 86-92. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/ctas/vsi-vypusky/volume-3-number-2/osoblyvosti-ekosorbciyi-enterosorbentom-za-toksychnogo> (дата звернення: 15.11.2023).

43. Гапон С. В. Основні шляхи надходження важких металів у довкілля [Електронний ресурс] / С. В. Гапон, М. О. Прусова // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції «Біорізноманіття:

теорія, практика, формування здоров'язбережувальної компетентності у школярів та методичні аспекти вивчення у закладах освіти». – Полтава, 2020. – С. 209-212 – Режим доступу: <https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d9b76e53-1c9e-439e-b36c-fba6571310c8/content> (дата звернення: 15.11.2023).

44. Dorota Pikula Effect of the Degree of Soil Contamination with Heavy Metals on Their Mobility in the Soil Profile in a Microplot Experiment: 2021 [Elektronik resource] / Dorota Pikula, Wojciech Stepie // *Agronomy* – 2021. – Access mode: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/5/878> (last access: 15.11.2023).

45. Dionisios Gasparatos Soil Contamination by Heavy Metals and Metalloids: 2022 [Elektronik resource] / Dionisios Gasparatos // *Environments* – 2022. – Access mode: <https://www.mdpi.com/2076-3298/9/3/32> (last access: 15.11.2023).

46. Шепелюк М. О. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах різних екологічних зон міста Луцька [Електронний ресурс] / М. О. Шепелюк // *Таврійський науковий вісник*. – 2019. – Вип. 107. – Режим доступу: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/107\\_2019/43.pdf](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/107_2019/43.pdf) (дата звернення: 15.11.2023).

47. ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT). – чинний від 2006-04-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 23 с.

48. ДСТУ ISO 10381-4:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 4. Настанови щодо процедури дослідження природних, майже природних та оброблюваних ділянок (ISO 10381-4:2003, IDT). – чинний від 2006-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 12 с.

49. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4.5 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. – чинний від 2009-01-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 9 с.

50. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4.5 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. – чинний від 2009-01-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 9 с.

51. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті [Електронний ресурс] : закон (№ z0722-20) : [прийнято Верх. Радою 14.07.2020] // Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#doc\\_info](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#doc_info) (дата звернення: 15.11.2023).

52. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [Електронний ресурс] / За ред. С. М. Рижук, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. – Київ, 2003. – 64 с.

53. Петрук В. Г. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С. М. Кватернюк, В. А. Іщенко, П. М. Турчик. – Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2014. – 112 с. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/275830031\\_Normuvanna\\_antropogenno\\_go\\_navantazenna\\_na\\_navkolisne\\_seredovise\\_Kursove\\_proektuvanna\\_navcalnij\\_posibnik\\_Navcalnij\\_posibnik](https://www.researchgate.net/publication/275830031_Normuvanna_antropogenno_go_navantazenna_na_navkolisne_seredovise_Kursove_proektuvanna_navcalnij_posibnik_Navcalnij_posibnik) (дата звернення: 15.11.2023).